

橋梁損傷の発生傾向に関する分析

仲野 悌弘

近畿地方整備局 紀伊山地砂防事務所 工務課 (〒637-0002奈良県五條市三在町1681)

橋梁等の社会資本の高齢化が進む中、より効率的な補修・修繕設計を行う事が求められている。しかし橋梁の補修・修繕設計は点検調査のC判定部材を拾い出し、マニュアルに沿った工法選定を行っているが、損傷原因を設計に考慮していないものが多く見られるのが現状である。

そこで、効率的な補修・修繕設計を行い、今後の橋梁長寿命化対策に活用することを目的に、橋梁損傷の経年変化や原因等の橋梁点検結果の技術的分析、補修補強対策事例に関する技術資料の蓄積を行った。

キーワード 長寿命化修繕計画, 橋梁点検, 橋梁補修, 橋梁修繕

1. 橋梁損傷の経年変化の分析

(1) 劣化進行速度の分析手法

近畿地整において橋梁定期点検要領(案)(以下、H16要領)およびS63要領により点検を実施した橋長15m以上の橋梁のうち、2回目点検を実施済の橋梁1,398橋を対象とし、以下のステップで評価を行った。

- ① 1回目点検時における損傷程度の評価(a, b, c, d, e)が同一である要素データを対象として、それぞれ4、5、6年後に実施した2回目点検の結果別に要素数を集計する。ここで、分析のデータ数を確保するために、点検間隔が4、5、6年のデータを5年後の点検結果として評価する。

表-1 損傷程度別の5年後の遷移結果集計(例)

損傷程度の評価区分(1回目点検)		損傷程度の評価区分(2回目点検)				
		a	b	c	d	e
a	1,000	800	150	50	0	0
b	500		400	50	30	20
c	200			170	20	10
d	100				80	20
e	10					10

- ② 要素数の集計結果をもとに損傷程度別の遷移確率を算出し、各損傷程度の割合の経年変化を5年単位で計算する。

表-2 5年後の損傷程度別遷移確率(例)

遷移確率		a	b	c	d	e
a	100%	80%	15%	5%	0%	0%
b	100%		80%	10%	6%	4%
c	100%			85%	10%	5%
d	100%				80%	20%
e	100%					100%

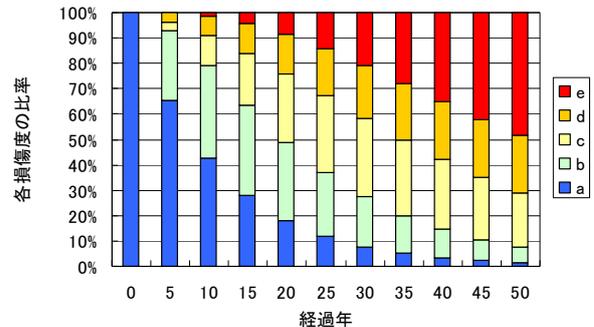


図-1 5年ごとのマルコフ連鎖による損傷程度比率の推移(例)

- ③ 損傷程度の経年変化を把握するため、損傷程度の評価区分ごとに0.0~1.0までの値を付与し、遷移確率から5年ごとの期待値(損傷程度の評価の重み付き平均)を算出する。

損傷程度の評価ごとに付与する値(重み)は、以下のとおり。

$$a=1.00 \quad b=0.75 \quad c=0.50 \quad d=0.25 \quad e=0.00$$

表-3 5年ごとの各損傷程度の比率と期待値(例)

経過年	損傷程度 ※括弧内は損傷程度に付与した値					期待値
	a	b	c	d	e	
0年	1.00	0.75	0.50	0.25	0.00	1.00
5年	0.80	0.15	0.05	0.00	0.00	0.94
10年	0.64	0.24	0.10	0.01	0.01	0.87
15年	0.51	0.29	0.14	0.04	0.03	0.81
20年	0.41	0.31	0.17	0.06	0.05	0.74
25年	0.33	0.31	0.20	0.08	0.08	0.68
30年	0.26	0.29	0.22	0.10	0.12	0.62
35年	0.21	0.28	0.23	0.12	0.17	0.56
40年	0.17	0.25	0.23	0.14	0.21	0.51
45年	0.13	0.23	0.23	0.15	0.26	0.46
50年	0.11	0.20	0.22	0.15	0.31	0.41

④ 経過年と損傷程度の評価の期待値の関係について、回帰分析により決定係数R²が0.8以上となる近似曲線を算出する。

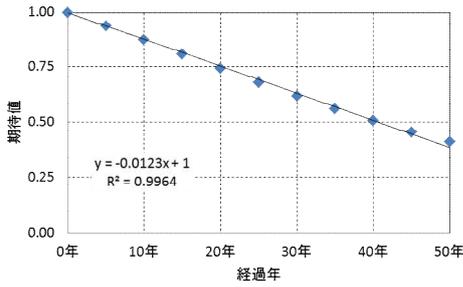


図-2 損傷程度の評価の期待値の経年変化 (例)

(2) 分析結果

鋼橋主桁の腐食について、損傷程度の期待値の経年変化を部位で比較すると、桁端部の方が中間部よりも劣化の進行が早い傾向が見られる。原因は伸縮装置からの漏水によるものである。

また、鋼橋主桁の腐食について、損傷程度の期待値の経年変化を塗装種別で比較すると、A系塗装の方がC系塗装よりも劣化の進行が早い傾向が見られ、C形塗装の長寿命化を証明するものである。

(a) 鋼橋主桁／腐食／部位 (桁端部)

表-4 損傷程度の評価区分の5年後の遷移

損傷程度の評価区分		5年後	損傷程度の評価区分				
a	b		a	b	c	d	e
a	3,638	→	2,750	724	19	142	3
b	1,059		0	860	43	156	0
c	81		0	0	59	22	0
d	415		0	0	0	406	9
e	73		0	0	0	0	73

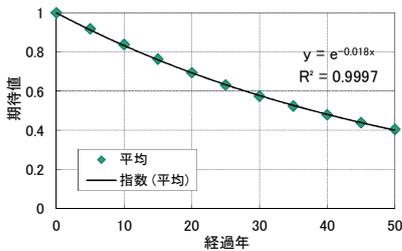


図-3 損傷程度の評価の期待値の経年変化

(b) 鋼橋主桁／腐食／部位 (桁中間部)

表-5 損傷程度の評価区分の5年後の遷移

損傷程度の評価区分		5年後	損傷程度の評価区分				
a	b		a	b	c	d	e
a	20,561	→	18,042	2,420	56	42	1
b	3,473		0	3,277	122	74	0
c	376		0	0	355	21	0
d	736		0	0	0	674	62
e	49		0	0	0	0	49

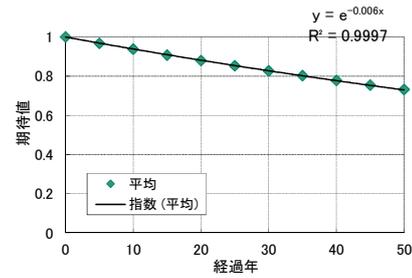


図-4 損傷程度の評価の期待値の経年変化

(c) 鋼橋主桁／腐食／塗装系 (A系)

表-6 損傷程度の評価区分の5年後の遷移

損傷程度の評価区分		5年後	損傷程度の評価区分				
a	b		a	b	c	d	e
a	14,190	→	11,410	2,553	71	152	4
b	3,741		0	3,462	157	122	0
c	280		0	0	241	39	0
d	536		0	0	0	530	6
e	26		0	0	0	0	26

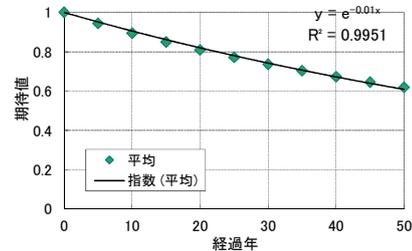


図-5 損傷程度の評価の期待値の経年変化

(d) 鋼橋主桁／腐食／塗装系 (C系)

表-7 損傷程度の評価区分の5年後の遷移

損傷程度の評価区分		5年後	損傷程度の評価区分				
a	b		a	b	c	d	e
a	7,574	→	7,171	360	12	31	0
b	433		0	346	17	70	0
c	19		0	0	17	2	0
d	643		0	0	0	577	66
e	106		0	0	0	0	106

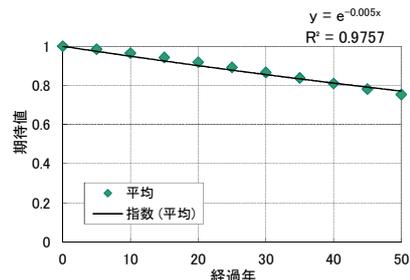


図-6 損傷程度の評価の期待値の経年変化

3. 損傷の進行傾向の追跡・整理

(1) 損傷の進行傾向の追跡手法

環境条件、交通条件および架設年次の各種特性の違いが損傷の発生や進行傾向に与える影響を把握するこ

とを目的に、現行の橋梁定期点検要領（案）（H16要領）以前の点検結果を持つ橋梁を対象として、建設時点からの損傷の進行傾向を追跡・整理を行った。

- ① 橋種、部材および損傷の種類と各種特性との関連を踏まえて、損傷の進行傾向を追跡するケース分類を行う。
- ② ①で整理した分類ごとに、目安として過去3回以上の点検結果を持つ橋梁を抽出する。
- ③ 異なる点検要領に基づく過去の点検結果について、損傷程度の評価方法の整合を図りながら、連続的な評価を行う。
- ④ ③での損傷程度の評価結果を下図のイメージで整理し、損傷の進行速度等の傾向について考察する。整理にあたっては、過去の補修履歴についても考慮する。

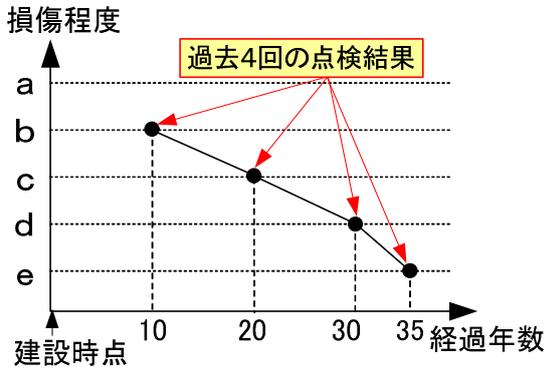


図-7 過去の点検結果の整理イメージ

(2) 検討ケースの分類

損傷を放置しておくことと橋梁構造に影響を及ぼす主要部材のうち、「桁」と「RC床版」を対象とし、それぞれ発生頻度の高い損傷の種類とその損傷に影響を及ぼすと考えられる条件に着目し、下表のとおり8つのケースに分類する。

表-8 検討ケースの分類

橋種	部材	環境条件	交通条件	架設年次	対象とする損傷	分類
鋼橋	桁	塩害地域内	-	-	腐食	①
		塩害地域外	-	-	腐食	②
	RC床版	-	大型車交通量の影響大	S47道示適用前	床版	③
			大型車交通量の影響小	S47道示適用後	ひびわれ	④
コンクリート橋	桁	塩害地域内	-	-	ひびわれ、剥離・鉄筋露出	⑦
		塩害地域外	-	-	ひびわれ、剥離・鉄筋露出	⑧

(3) 損傷程度評価方法の整合

H16要領、S63要領での損傷程度の評価区分とS63要領以前の点検における損傷度判定基準を今回対象とする損傷の種類ごとに横並び整理し、それぞれの評価の基準を参考に評価区分の整合ルールを整理する。

ただし、同一部材・同一損傷の連続した損傷進行を評価するために、下表のルールを参考としながら、点検調査書の所見、損傷図および損傷写真を個別に確認し再評価することとする。

表-9 「腐食」の評価区分の整合

判定	判定基準	S63要領の評価		H16要領の評価	
		損傷度判定区分	状況	損傷程度の区分	状況
A	上塗りのみ劣化	OK	損傷なし	a	損傷なし
		III	損傷の深さ:小 損傷の面積:小	b	損傷の深さ:小 損傷の面積:小
			損傷の深さ:小 損傷の面積:大	c	損傷の深さ:小 損傷の面積:大
B	点錆がほんの少し点在	II	損傷の深さ:大 損傷の面積:小	d	損傷の深さ:大 損傷の面積:小
			損傷の深さ:大 損傷の面積:大	e	損傷の深さ:大 損傷の面積:大

表-10 「床版ひびわれ」の評価区分の整合

判定	判定基準	S63要領の評価			H16要領の評価		
		損傷度判定区分	状況			損傷程度の区分	状況
A	ひびわれがほとんど確認されない	IV	小	小	小	a	・1方向ひびわれ ・ひびわれ幅0.05mm以下 ・ひびわれ間隔1m以上
			小	小	大	b	・1方向ひびわれが主 ・ひびわれ幅0.1mm以下が主 ・ひびわれ間隔1~0.5m
B	橋軸直角方向あるいは橋軸方向いずれかの方向のひびわれが確認される	IV	小	中	小	c	・格子状直前 ・ひびわれ幅0.2mm以下が主 ・ひびわれ間隔0.5m程度
			大	小	小		
		III	小	中	大	d	・格子状ひびわれ ・ひびわれ幅0.2mm以上、部分的な角落ち ・ひびわれ間隔0.5~0.2m
			大	中	大		
C	橋軸直角方向および橋軸方向のひびわれが確認されるおよび格子状のもの	II	大	中	大	e	・格子状ひびわれ ・ひびわれ幅0.2mm以上、連続的な角落ち ・ひびわれ間隔0.2m以下
			大	大	大		

表-11 「ひびわれ」の評価区分の整合

判定	判定基準	S63要領の評価		H16要領の評価			
		損傷度判定区分	状況	損傷程度の区分	状況		
A	ひびわれがほとんど確認されない	OK	小	小	小	a	損傷なし
			小	小	大	b	・最大ひびわれ幅:小 ・最小ひびわれ間隔:小
			大	小	大		
			小	中	小	c	・最大ひびわれ幅:大 ・最小ひびわれ間隔:大
			大	中	小		
			小	大	中	d	・最大ひびわれ幅:中 ・最小ひびわれ間隔:中
			大	中	大		
			小	大	大	e	・最大ひびわれ幅:大 ・最小ひびわれ間隔:大
大	大	大					

(4) 検討対象橋梁

8つの分類ごとに抽出した検討対象橋梁の諸元、架設年、点検実施年度を整理する。

表-12 検討対象橋梁一覧

分類	事務所名	橋梁名	橋種	橋梁形式	橋長	架設年次	点検年度										
							1	2	3	4	5	6	7	8	9		
①	紀南	新田並橋	鋼橋	単純鋼鉄リベット合成板桁橋	31.6	1967	1985	1990	1998	2008							
							1985	1990	1998	2008							
①	紀南	勢力橋	鋼橋	単純鋼鉄リベット合成板桁橋	30.9	1964	1978	1994	2002	2008							
							1978	1994	2002	2008							
①	紀南	新王子橋(下)	鋼橋	単純鋼鉄リベット桁橋	41.5	1962	1978	1984	1992	2003	2008						
							1978	1984	1992	2003	2008						
②	大阪	吉川橋	鋼橋	単純鋼非合成板桁橋	24.1	1964	1978	1982	1993	2001	2006	2011					
							1978	1982	1993	2001	2006	2011					
②	姫路	上野大橋	鋼橋	単純鋼非合成板桁橋3連	60.8	1966	1973	1974	1975	1979	1982	1986	1996	2007	2012		
							1973	1974	1975	1979	1982	1986	1996	2007	2012		
②	姫路	有年橋	鋼橋	ゲルバー鋼非合成板桁橋(1連)	197.0	1960	1973	1974	1977	1980	1982	1984	1996	2008			
							1973	1974	1977	1980	1982	1984	1996	2008			
③	姫路	新加古川大橋	鋼橋	3径連続鋼非合成板桁橋3連	420.3	1967	1978	1979	1987	2002	2007						
							1978	1979	1987	2002	2007						
③	京都	吉川橋	鋼橋	単純鋼非合成板桁橋	33.2	1972	1982	1994	2002	2008							
							1982	1994	2002	2008							
④	大阪	橋尾川橋	鋼橋	単純鋼非合成板桁橋3連	90.0	1978	1988	1996	2008								
							1988	1996	2008								
④	奈良	菩提山川橋(下)	鋼橋	単純鋼溶接合成板桁橋	30.0	1975	1987	2003	2008								
							1987	2003	2008								
⑤	福知山	白土橋	鋼橋	単純鋼溶接非合成板桁橋	24.9	1954	1974	1977	1982	1992	2000	2004	2009				
							1974	1977	1982	1992	2000	2004	2009				
⑤	大阪	吉川橋	鋼橋	単純鋼非合成板桁橋	24.1	1964	1978	1982	1993	2001	2006	2011					
							1978	1982	1993	2001	2006	2011					
⑥	福知山	馬場橋	鋼橋	単純鋼溶接非合成H形桁橋	23.0	1984	1993	2001	2004	2009							
							1993	2001	2004	2009							
⑥	豊岡	和田橋	鋼橋	単純鋼溶接合成板桁橋	45.0	1981	1987	1995	2003	2009							
							1987	1995	2003	2009							
⑦	紀南	伊串橋	PC橋	単純PCポストテンT桁橋2連	43.5	1974	1983	1997	2008								
							1983	1997	2008								
⑦	紀南	神野川橋	PC橋	単純PCポストテンT桁橋2連	51.0	1962	1981	1986	1995	2008							
							1981	1986	1995	2008							
⑦	紀南	西津浦橋	PC橋	単純PCポストテンT桁橋	22.2	1966	1980	1984	1994	2008	2010						
							1980	1984	1994	2008	2010						
⑧	京都	磯橋	PC橋	単純PCポストテンT桁橋	27.8	1969	1976	1983	1996	2008	2012						
							1976	1983	1996	2008	2012						
⑧	紀南	堂道橋	PC橋	単純PCポストテンT桁橋	27.0	1964	1987	1995	2006	2016							
							1987	1995	2006	2016							
⑧	大阪	藤谷川橋	RC/PC橋	単純RCT桁橋、単純PCポストテンT桁橋	42.1	1962	1977	1982	1992	2002	2008						
							1977	1982	1992	2002	2008						

(5) 検討結果

(a) 分類① 鋼橋/主桁/腐食/塩害地域内

- ・塩害の影響を受けるため、塗装後10年程度で腐食が著しく進行する傾向が見られる。
- ・これまでは、10~15年程度で塗装の塗替を行っている。

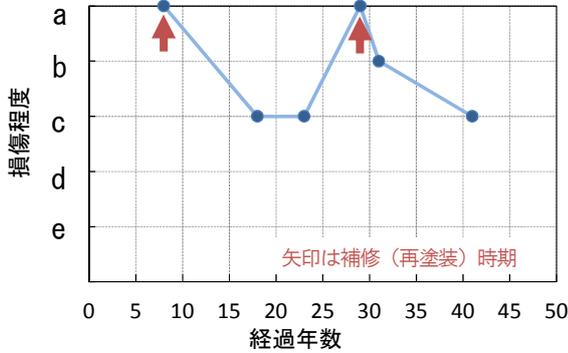


図-8 紀南 新田並橋

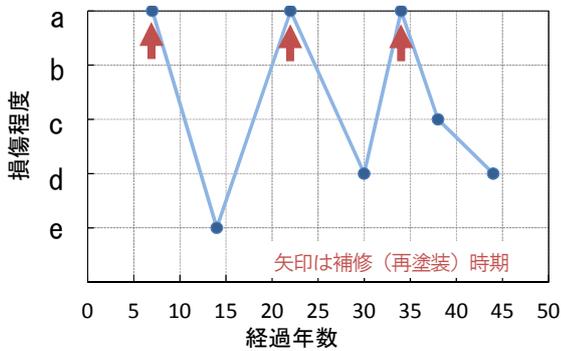


図-9 紀南 勢力橋

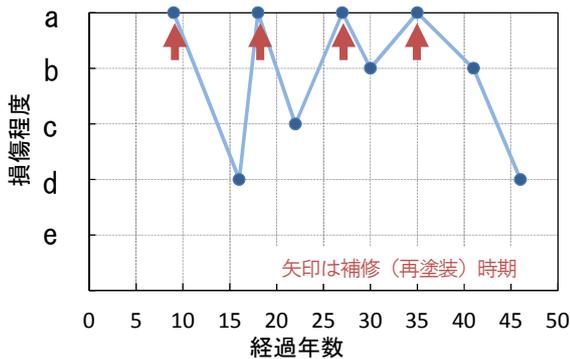


図-10 紀南 新王子橋

(b) 分類② 鋼橋/主桁/腐食/塩害地域外

- ・塩害の影響を受けない地域では、塗装後20年程度で腐食が著しくなる傾向が見られる(上野大橋)。
- ・ただし、桁端部が漏水環境にある場合は、10年程度で腐食が進行している(古川橋)。

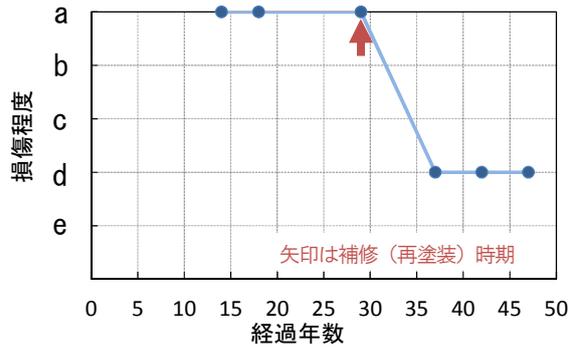


図-11 大國 古川橋

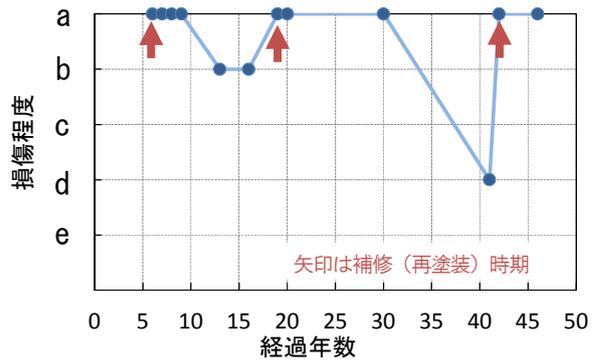


図-12 姫路 上野大橋

(c) 分類⑦ コンクリート橋/主桁/剥離・鉄筋露出 ひびわれ/塩害地域内

- ・塩害の影響を受けるコンクリート橋では、建設後25~30年経過すると、ひびわれ、剥離・鉄筋露出などの損傷が著しくなることがわかる。
- ・建設後30年程度経過した時点で表面被覆による補修を実施しても、コンクリート内部にすでに浸透した塩分を原因とする鉄筋腐食により再劣化が生じている(神野川橋、西津浦橋)。

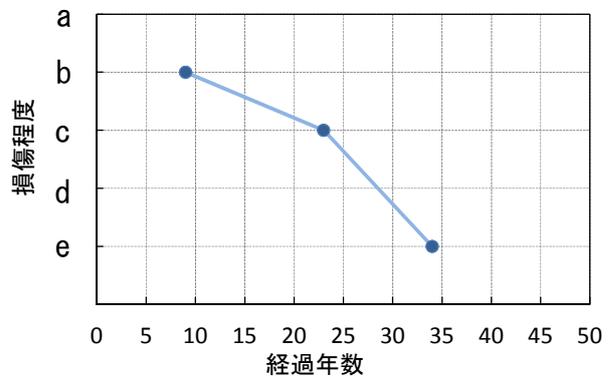


図-13 紀南 伊串橋

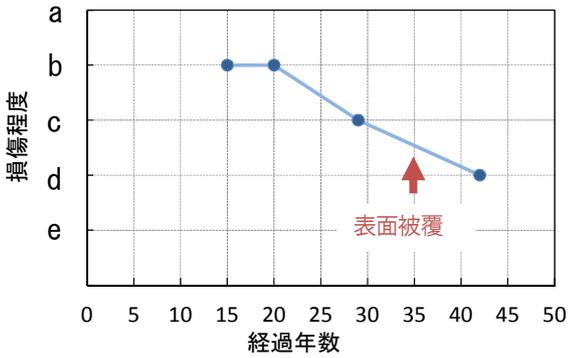


図-14 紀南 神野川橋

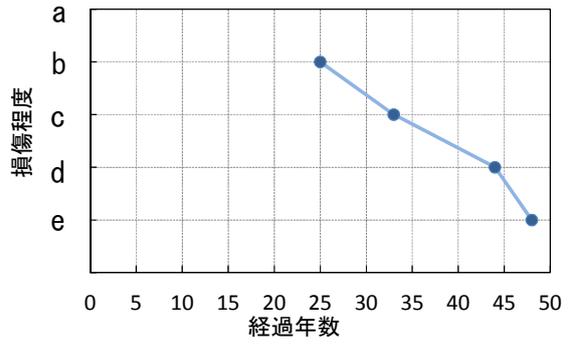


図-17 紀南 堂道橋

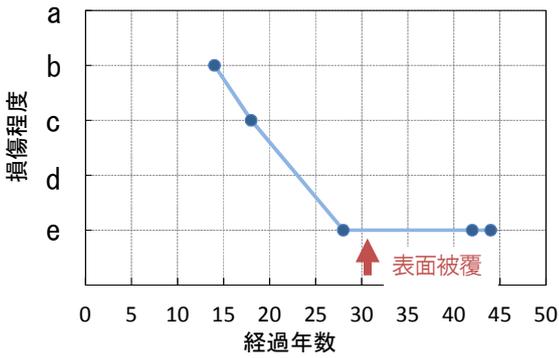


図-15 紀南 西津浦橋

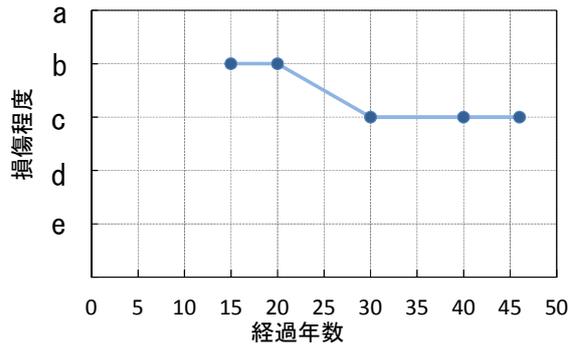


図-17 大阪 穂谷川橋

(d) 分類⑧ コンクリート橋/主桁/剥離・鉄筋露出 ひびわれ/塩害地域外

- ・塩害の影響を受けないコンクリート橋の場合、建設後40年経過しても損傷が進行していないことがわかる。
- ・ただし、鉄筋のかぶり不足が原因で発生した剥離・鉄筋露出については、50年程度経過すれば鉄筋露出と錆が著しくなることがわかる(堂道橋)。

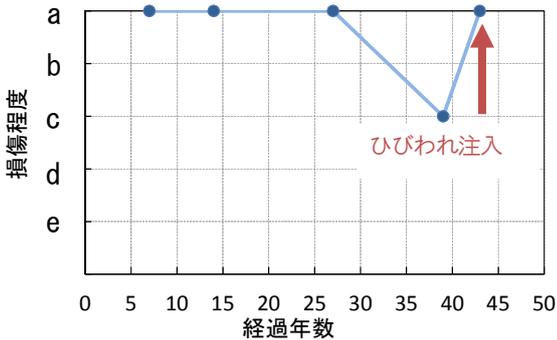


図-16 京都 曙橋

4. まとめ

今回分析・整理を実施した「劣化進行速度の分析」、「損傷進行傾向の追跡・整理結果」は、ある程度予測していた傾向を裏付ける結果となった。

このことから、損傷の発生・進行状況及び補修補強状況を追跡・整理し、環境条件、交通条件、仮設年次等の各種特性と損傷進行傾向の関連性に関するデータを蓄積することは、これからの維持管理に有用なものと考えられる。

今後新たな点検結果も追加することでさらに幅広く分析を進め、各種特性と損傷進行傾向との関係、補修補強の効果等についての技術資料を蓄積していくことが重要である。

本論文については、2013年度の、近畿技術事務所 防災・技術課在職中に取りまとめたものである。