2019年10月15日

大阪大学
OSAKA UNIVERSITY
社会基盤マネジメント学領域

第16回新都市社会技術セミナー@國民会館

橋梁補修施策プロファイリング手法の開発

大阪大学大学院

貝戸清之

kaito@ga.eng.osaka-u.ac.jp

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

プロジェクトの研究背景

大阪大学 OSAKA UNIVERSITY 社会基盤マネジメント学領域

5年に一度の近接目視点検が義務化され，橋梁を対象とした目視点検データが蓄積されてきている．目視点検に代替し得る新技術の開発も進むなか，今後は長年にわたって蓄積された膨大な点検ビッグデータを実務的課題の解決や，アセットマネジメントの継続的稼働に向けて，どのように活用していくかが重要となってくる．申請者らの研究グループでは過去15年間，点検データを用いた劣化予測やライフサイクル費用に基づいた橋梁の最適補修計画の策定に取り組んできた．しかし，多くの管理者では予算・人員制約のために，全橋梁を対象に劣化曲線を作成し，厳密にライフサイクル費用最小化計画を立案することに実務的な意味を持たない．むしろ，劣化特性や損傷の種類に基づいて橋梁をグループ化し，グループ内における補修施策の標準化と，グループ間における補修施策の差別化を通じた補修施策プロファイリングを行うことが望ましい．

本研究プロジェクトでは，橋梁部材の目視点検データの統計分析を通して，劣化要因を特定するとともに，その劣化要因を説明変数として内包するような劣化予測モデルを用いた劣化速度の異質性のモデル化と，劣化速度の異質性に着目した補修施策の統計的プロファイリングのための方法論を提示する．さらに，近畿地方整備局管内の橋梁群を対象とした補修施策プロファイリングによって提案手法の妥当性を実証的に確認する．

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

本年度の研究内容

大阪大学
OSAKA UNIVERSITY
社会基盤マネジメント学領域

橋梁部材の中でも最重要部材であるRC床版に着目し，目視点検データに基づくベンチマーク分析を通して，劣化の主要因では説明できない個別橋梁の劣化速度の異質性を定量的に評価する．想定され得る補修シナリオの立案とライフサイクル費用評価手法を検討する．また，劣化速度の異質性，あるいは異質性間の相関構造に基づく統計的プロファイリング手法の開発を行う．

↓

- RC床版の劣化過程に着目
- 劣化速度の異質性に基づくプロファイリング手法の開発
- 橋梁フォルトツリーのプロトタイプの作成

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

研究背景

大阪大学
OSAKA UNIVERSITY
社会基盤マネジメント学領域

目視点検データの蓄積による展望
５年に一度の近接目視点検の義務化による
膨大な点検データの獲得

実務的課題

予算・人員制約を考慮した
膨大な橋梁に対するアセットマネジメント

橋梁個別に対して，補修施策の意思決定を実施するのは現実的でない.

合理的な補修施策に対する意思決定の必要性

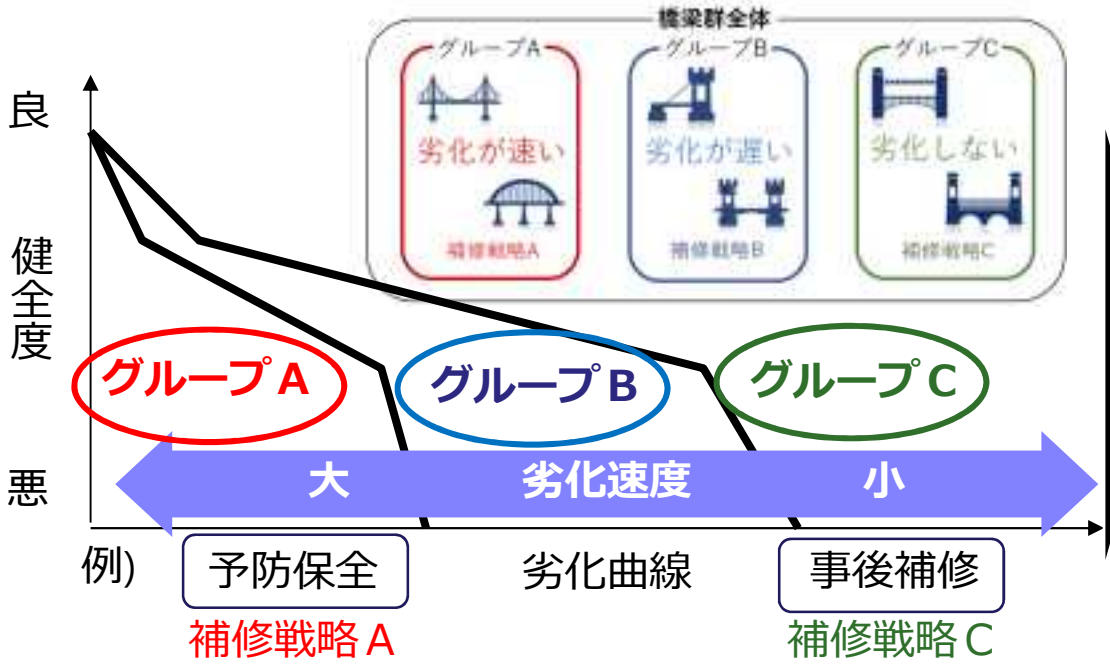
Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

研究目的

大阪大学
OSAKA UNIVERSITY
社会基盤マネジメント学領域

実務的課題に対するアプローチ

- 劣化特性や損傷の種類に基づいたグループ化による補修施策の標準化
- グループ間における補修施策の差別化



プロファイリングによる橋梁マネジメントの合理化

橋梁補修プロファイリング施策手法の開発

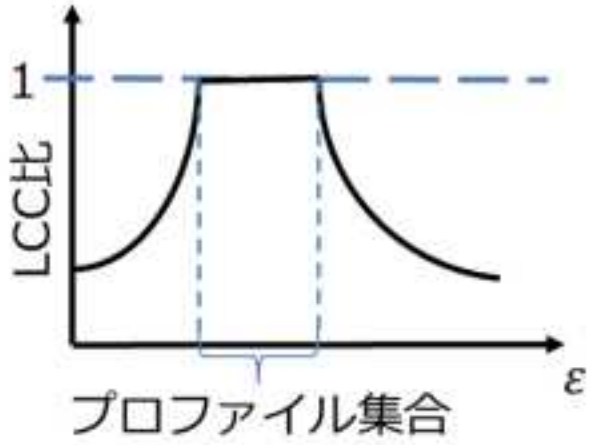
Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

橋梁補修施策プロファイリング

大阪大学 OSAKA UNIVERSITY 社会基盤マネジメント学領域

- 混合マルコフ劣化ハザードモデルを用いて，橋梁の劣化速度の差異により各橋梁の劣化曲線を算出
- 平均費用法を用いて各橋梁に対する最適補修戦略となるLCCと全体の橋梁の最適補修戦略となるLCCの比により，同一グループ内で採用する補修戦略を統一化

$$\text{LCC比} = \frac{\text{各橋梁のLCC費用最小となる補修戦略}}{\text{対象橋梁群全てに同一の補修戦略を適用した時 LCC費用最小となる補修戦略}}$$



プロファイル集合に含まれなかった橋梁

→全体橋梁のLCC費用がその次に小さくなる補修戦略を分母として

再びプロファイリング．各グループでの補修戦略を差別化

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

研究対象部材（RC床版）の概要

大阪大学 OSAKA UNIVERSITY 社会基盤マネジメント学領域

研究対象部材：重要部材の１つであるRC床版の一般部

要素番号：(数字)

※点検が実施される単位

点検回数	1回～3回
点検年	2006年～2015年
供用開始年	1954年～2003年
所在	京都府，滋賀県，大阪府，兵庫県，和歌山県
主な損傷	床版ひび割れ

損傷の記述が多い床版ひび割れに着目した
プロファイリングの実施

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

適用データ概要

大阪大学 OSAKA UNIVERSITY 社会基盤マネジメント学領域

国土交通省近畿地方整備局管内の橋梁点検データを適用

床版ひび割れデータ概要

橋梁数	342
サンプルサイズ	33,371
損傷段階	5段階

		事後健全度				
		1	2	3	4	5
事前健全度	1	4,710	793	351	25	1
	2	0	18,459	1,913	348	1
	3	0	0	5,246	579	1
	4	0	0	0	940	1
	5	0	0	0	0	3

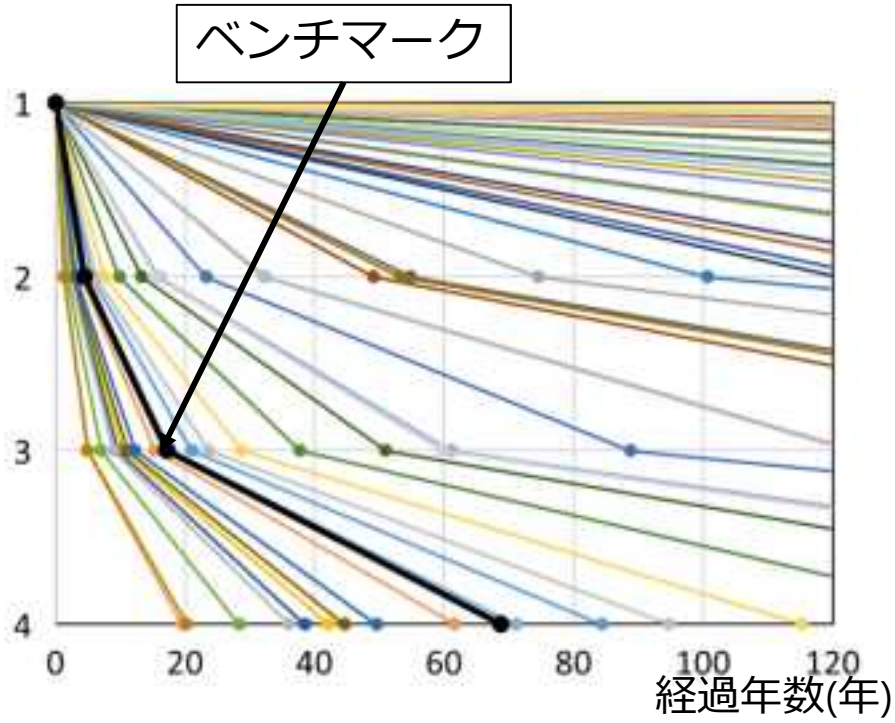
- 劣化曲線の算出は上記データから
  京都国道事務所管内の橋梁（全54橋）を対象とした
- 健全度５に関するサンプルが少数であるため
  推計上では健全度５を４とまとめた４段階評価を実施

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

床版ひび割れを対象とした推定結果

大阪大学 OSAKA UNIVERSITY 社会基盤マネジメント学領域

劣化曲線は橋梁$i(i = 1,2,\ldots,54)$のRC床版部材の期待寿命



ε推計結果
最大値（劣化が速い）
：3.5236
最小値（劣化が遅い）
：0.0007

ベンチマーク推定結果

健全度	1→2	2→3	3→4
期待寿命（年）	4.48	12.64	51.59
累積期待寿命（年）	4.48	17.13	68.72

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

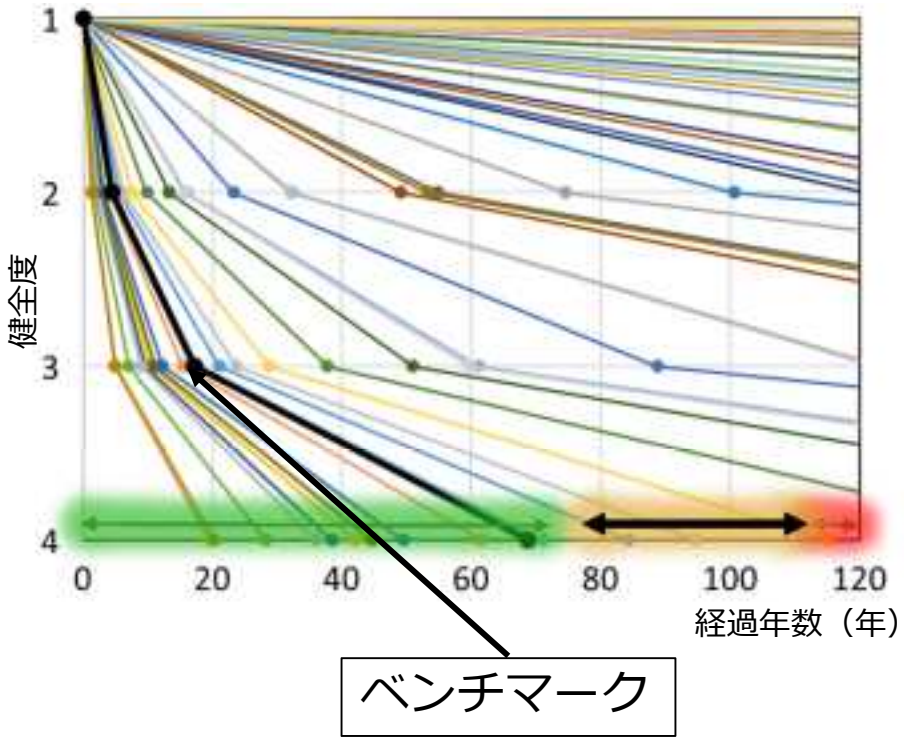
補修戦略（RC床版を例として）

大阪大学 OSAKA UNIVERSITY 社会基盤マネジメント学領域

ベンチマーク推定結果

健全度s	推定値β	期待寿命（年）
1	-1.50	4.48
2	-2.53	17.13
3	-3.94	68.72

橋梁$i(i = 1, \ldots, 54)$RC床版部材の期待寿命



設定した補修概要

各補修工法は補修後の効果が不明確なため
健全度は１まで回復すると仮定

補修時健全度	補修工法	補修単価（千円/m^2）	健全度回復水準
2	ひび割れ注入工法	約20	1
3	断面修復工法	約29	1
4	鋼板接着工法	約60	1
5	床版取替工法	約550	1

補修時健全度	補修戦略C ($0.84 \leq \varepsilon$)	補修戦略B ($0.15 \leq \varepsilon \leq 0.84$)	補修戦略A ($\varepsilon \leq 0.15$)
2	○	×	×
3	○	×	×
4	×	×	○
5	○	○	○
平均費用値	80.87	99.56	71.63
対象橋梁数	10	8	36

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

橋梁IDと橋梁名の対応

大阪大学
OSAKA UNIVERSITY
社会基盤マネジメント学領域

橋梁ID	劣化速度（ε）	橋梁名	管轄事務所
134	3.52	A橋	京都国道
586	3.39	B橋	福知山河川国道
586	3.39	C橋	福知山河川国道
78	2.42	D橋	福知山河川国道
96	1.90	E橋	福知山河川国道
80	1.78	F橋	福知山河川国道
74	1.62	G橋	福知山河川国道
129	1.53	H橋	京都国道

劣化速度の大きい橋梁に対して，相関係数を考慮し劣化要因の分析を実施

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

異質性パラメータとの相関係数

大阪大学 OSAKA UNIVERSITY 社会基盤マネジメント学領域

	項目	相関係数
塗装系	塗装系A	-0.01
	塗装系B	-0.05
	塗装系C	0.01
	塗装系その他	0.03
供用開始年		-0.33
交通量		-0.04
大型車混入率		-0.13
排水施設	たれ流し型式	-0.15
	導水型式	0.20
	排水施設無し	-0.07
桁形式	単純桁	-0.05
	連続桁	0.14
構造形式	H形鋼（非合成）	-0.07
	I型（合成）	0.17
	I型（非合成）	-0.08
	I型(不明)	-0.11

劣化速度の大きい７橋の要因を分析するために相関係数の算出（７橋を１，残り47橋を0）

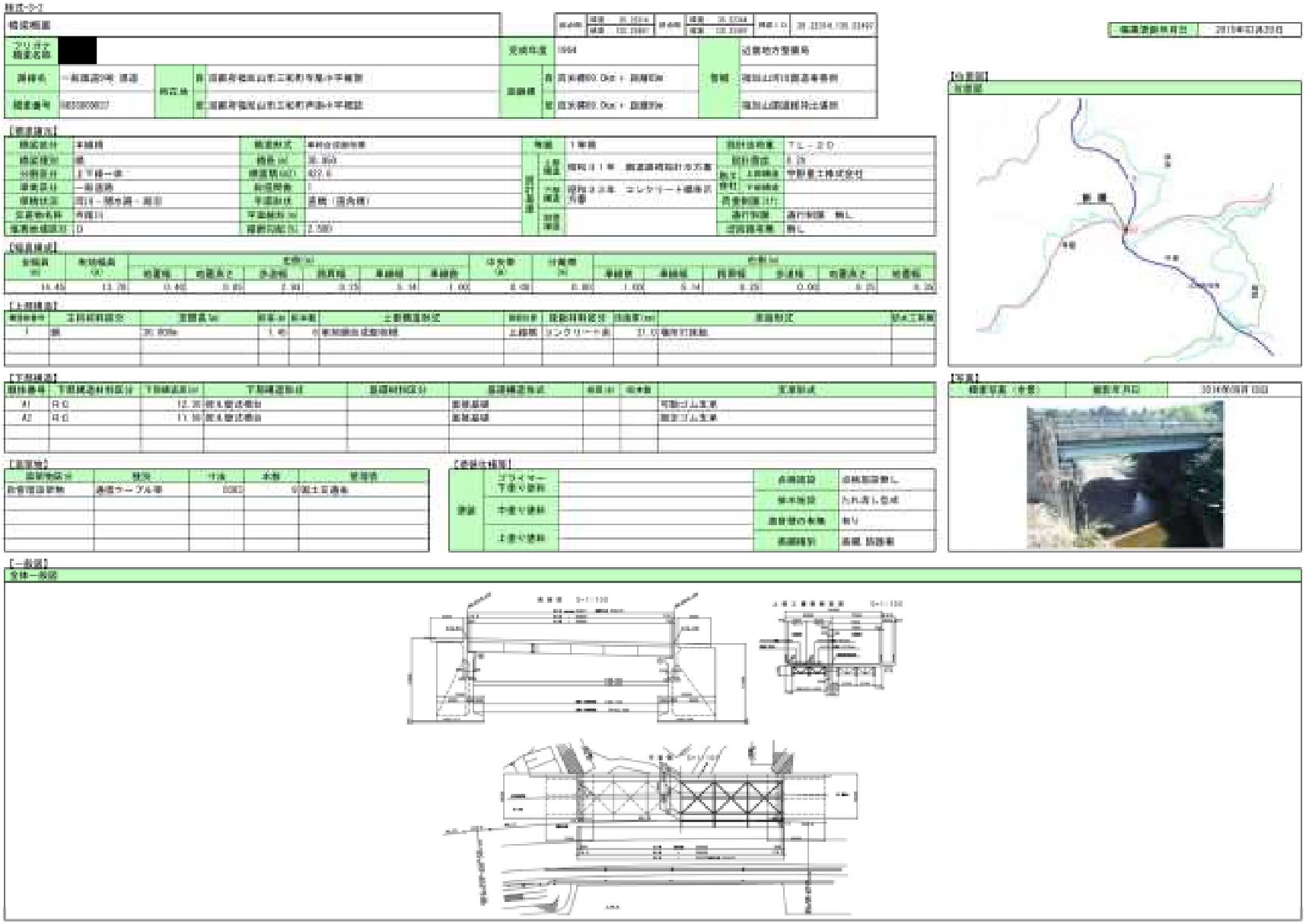
供用開始年が古い方が，
異質性パラメータの値が大きい
＝劣化速度が大きい

- 長期間の供用による，慢性的な構造の劣化が影響
- 補修だけでなく，建替えの検討も重要

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

劣化要因の突き合わせ

大阪大学
OSAKA UNIVERSITY
社会基盤マネジメント学領域



Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

劣化要因の突き合わせ

大阪大学
OSAKA UNIVERSITY
社会基盤マネジメント学領域

様式-3-3

総合検査結果													
						点検時	概況：26.2014 補強：10.2007	補強時	概況：26.2014 補強：10.2007	概況1回	26.2014.10.20.2007		
フリガナ 橋梁名称	[redacted]				完成年度	1964			管轄	近畿地方整備局			
路線名	一般国道9号 湖東	所在地	西	京都府福知山市三和町寺尾小字権現	体調場	西	石巻標識 Box + 金網Wire			福知山河川国道事務所			
橋梁番号	0830809031		東	京都府福知山市三和町芦渕小字横路		東	石巻標識 Box + 金網Wire			福知山国道維持出張所			

橋梁整備年月日	2016年03月20日

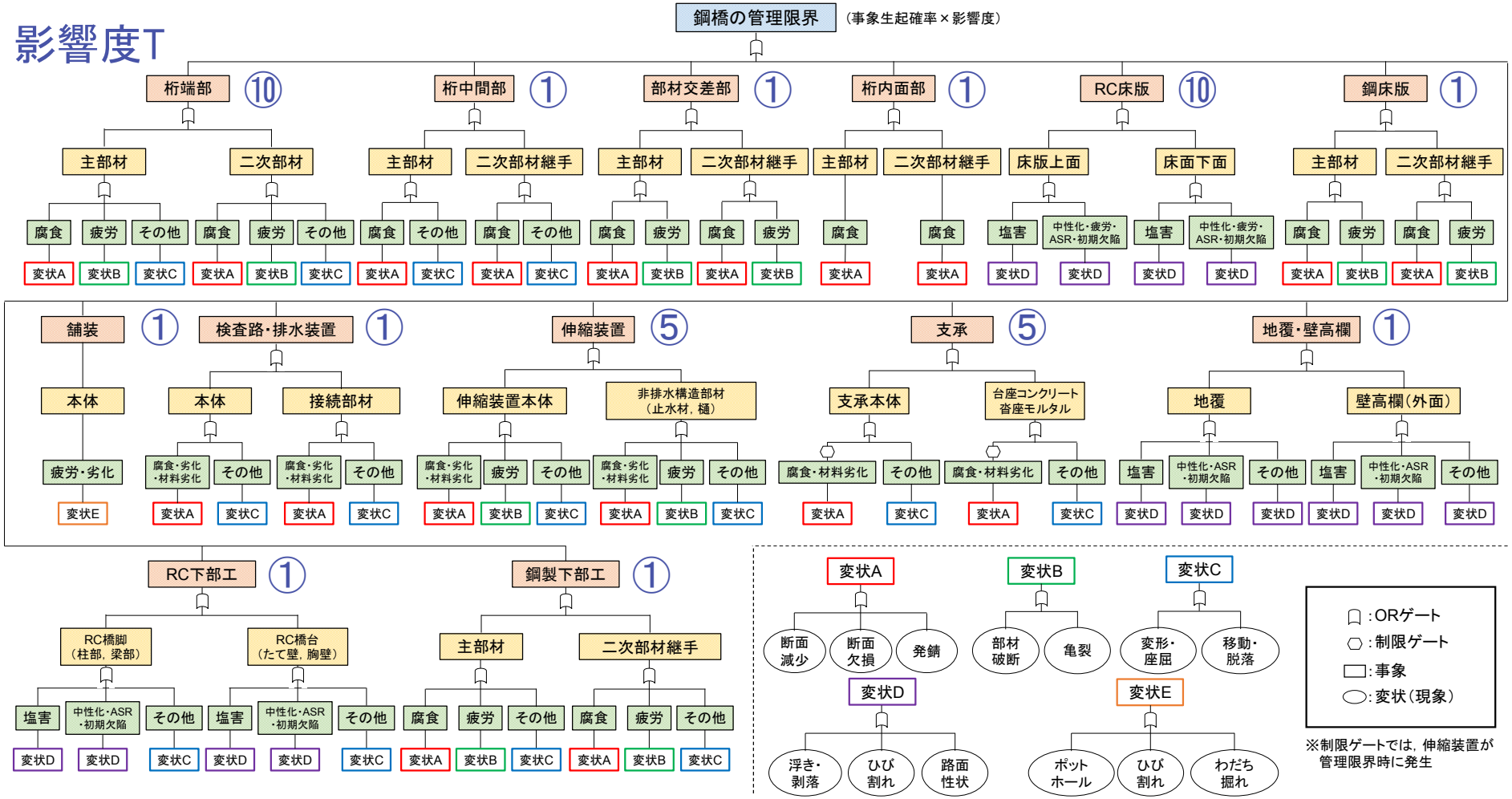
管理一覧番号	年月日	種別・名称	総合検査結果	健全度(健全C)	代表対策区分
1	2005年03月31日	定期点検（4回）	本橋は供用後４１年経過した単純合成鈑桁橋である。両橋台には下部工検査路が設置されている。これまでに、支承の補修工事が実施されており、概ね健全である。また、耐震補強として、落橋防止構造及び変位制限装置が設置されている。橋梁全体の劣化状況は、伸縮装置の変色・劣化を除いては、他その劣化はあるもののいずれも「状況に応じて補修する必要がある」程度の劣化である。 以下、主要な損傷についてその原因、進行性、対策区分について記述する。 (1)経年劣化により伸縮装置の止水不良により変色・劣化が発生している。漏水箇所は限定されており、支承、桁端とも腐食程度は小さいが、このままでは上構造及び支承の腐食環境促進の原因となるため「速やかに補修を行う必要がある」とした。		
2	2009年11月17日	定期点検	本橋は、供用後45年を経過した単純鋼合成鈑桁橋で、山間の河川上に位置している。橋梁定期点検は、前回平成16年度に行われている。落橋防止システムとして落橋防止アングルや桁受け幅が施されている。再塗装が1997年に行われている。 （１）損傷と補修・詳細調査の要否 ①速やかに補修する必要のある損傷（C） 【腐食】支承本体、アンカーボルト、伸縮装置【変色劣化】伸縮装置 ②詳細調査が必要な損傷（S） 特になし （２）対策区分Ｓ（経過観察）、B、M ①経過観察が必要な損傷（S） 特になし ②状況に応じて補修する必要がある損傷（B） 【腐食】【防食機能の劣化】主桁、横桁、海橋防止システム、排水管【腐食】鋼桁【防食機能の劣化】対傾構、下横構、支承本体、アンカーボルト、伸縮装置、防護柵【ひびわれ】胸壁、竪壁 【剥離・鉄筋露出】床版、竪壁、海橋防止システム【うき】床版、竪壁、海橋防止システム【床版ひびわれ】床版【変形・欠損】海橋防止システム【漏水・滞水】竪壁、橋台その他【漏水・遊離石灰】床版、竪壁、胸壁、翼壁、地覆 【その他（鉄汁）】胸壁【その他（すり傷）】防護柵【その他（遊離石灰付着）】点検施設 ③維持工事で対応する必要がある損傷（M） 【土砂詰り】橋台その他、伸縮装置【その他（巨地材の脱落）】伸縮装置 （３）特記事項 ・本橋は、伸縮装置の止水不良による漏水で、支承本体、アンカーボルトが腐食が激しい。速やかに補修が必要である。その他の部材は、状況に応じて補修する損傷及び維持工事で対応する損傷がある程度である。		B
3	2012年12月28日	補修工事	工事名　：国道9号管内橋梁補修工事 施工業者　：綾河工事株式会社 設計会社：調査未記入 対象部材：伸縮装置、支承 補修・補強工法：伸縮装置の更新（上り線のみ）、支承防錆（金属溶射） ※ ・補修・補強工事調書より、カルテの更新を行った。前回点検で「C」判定となっている支承腐食、伸縮装置の劣化損傷については今回の工事により補修されており見えけし処理を行った。		B
4	2014年10月31日	定期点検	本橋は供用開始から約53年が経過した単純合成鈑桁橋であり、桁下は河川である。下り側に歩道部を有しており、より側には新橋側歩道橋（上）が隣接し、両側に歩道部を有する橋面構成となっている。本橋はより側が現設部で、1990年に下り側が拡幅されて一体構造となったものである。 前回定期はより側が1981年10月で約23年が経過し、下り側が1987年3月で約17年が経過している。 前回点検（2009年度）では、「E」および「S」判定の損傷はなかった。 (1) 対策区分判定結果：（　）内は対策工法案 【C1】予防保全の観点から速やかに補修等を行う必要のある損傷：なし 【C2】橋梁構造の安全性の観点から速やかに補修等を行う必要のある損傷：なし 【S1】詳細調査の必要がある損傷：なし 【S2】追跡調査の必要がある損傷：なし 【B】状況に応じて補修する必要のある損傷：主桁の腐食、横桁の腐食、縦桁の腐食、床版ひびわれ、胸壁および竪壁のひびわれ、竪壁の遊離石灰、地覆のひびわれ、その他調査その10およびその11参照 【M】維持工事で対応する必要のある損傷：なし (2) 特記事項 上り側の橋台近傍の舗装部にポットホールが新たに確認されたが、既に維持工事により修繕されている。損傷箇所の下方の床版には損傷がないことも確認済みであり、車両走行による輪荷重が原因と思われる（「B」判定）。	1	B

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

橋梁のフォルト・ツリー

大阪大学 OSAKA UNIVERSITY 社会基盤マネジメント学領域

影響度T



Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

本年度の研究方針

大阪大学
OSAKA UNIVERSITY
社会基盤マネジメント学領域

・費用とリスクに着目したプロファイリング手法の開発

ベンチマーク分析で獲得された劣化速度の異質性とリスク（橋梁フォルトツリーより算出），あるいはライフサイクル費用とリスクという2つの評価軸に着目したプロファイリング手法の検討を行う.

・近畿地方整備局管内の橋梁群を対象とした実証分析

実証分析によって，具体的に緊急対策が必要な橋梁グループ，予防保全，事後保全グループに橋梁を分類し，各グループの補修施策を提示するとともに，実務との整合性を比較検証する.

・個別施設計画に必要とされる分析手法の実践的検討

ベンチマーク分析，プロファイリング手法によるアウトプットと，個別施設計画の立案に要求される情報との整合性について検討を行い，実用化を意識した実践的な研究開発を行う.

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab