

2018.10.10

第15回新都市社会技術セミナー

@OMM大阪マーチャンダイズ・マート

橋梁補修施策プロファイリング手法 の開発

プロジェクトリーダー

大阪大学大学院 貝戸清之

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



 **OSAKA
UNIVERSITY**

研究背景

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。

本年度の研究内容

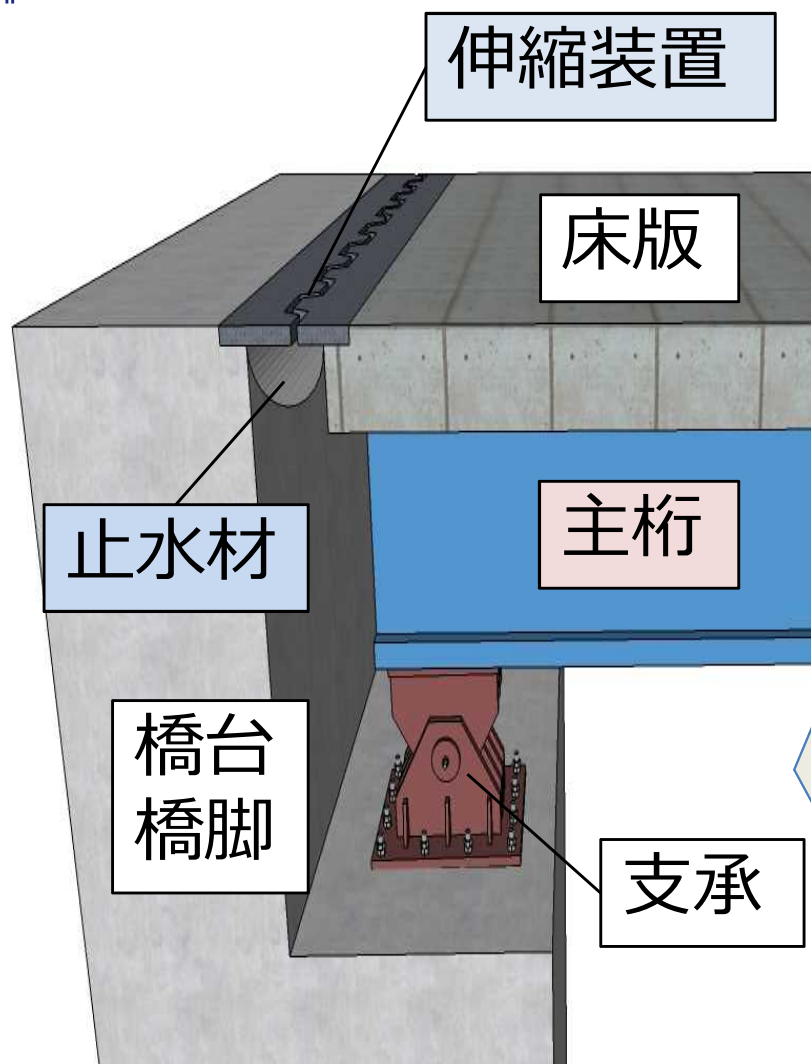
近畿地方整備局管内の橋梁を対象とした目視点検データを統計分析することによって、主要部材と、その劣化の主要因を抽出する。また主要部材の劣化過程と部材間の関連性などをマルコフ劣化ハザードモデルを拡張する形でモデル化する。さらに、ベンチマーク分析を通して、劣化の主要因では説明できない個別橋梁の劣化速度の異質性を定量的に評価する。



- ・ 伸縮装置の劣化，鋼桁端部の腐食に着目
- ・ 2つの劣化事象の関連性を考慮した
統計的劣化予測モデルの構築



鋼桁端部における腐食



鋼桁端部（橋台・橋脚上の鋼製部材）

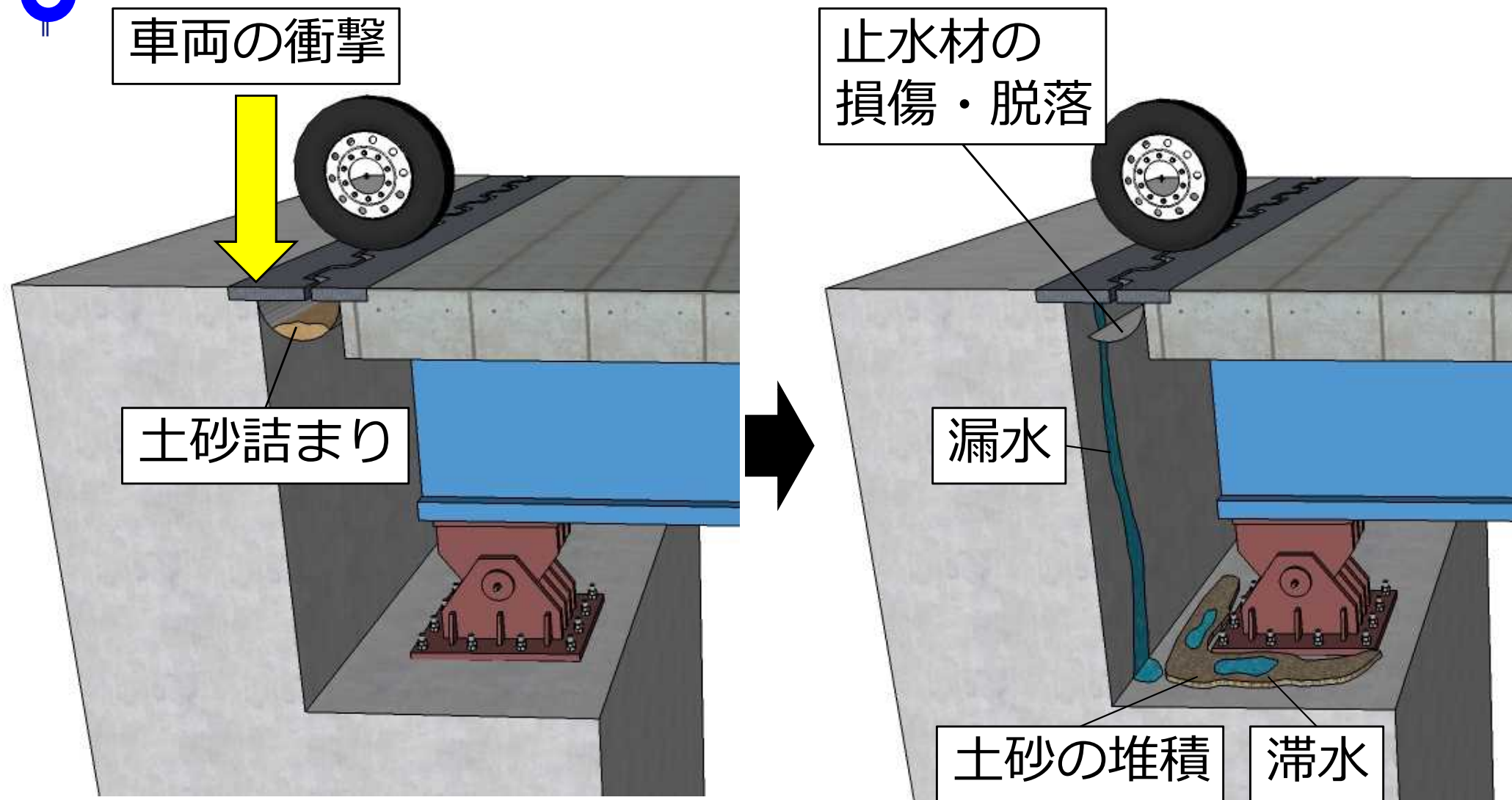
- 橋台上は狭隘な空間
- 取替には通行規制が付随

物理的かつ社会的な理由により
点検・補修が困難

- 主な劣化事象：腐食

伸縮装置からの漏水

伸縮装置からの漏水発生機構



研究目的

鋼桁端部の取替えは通行規制等の社会的損失を伴う
大規模かつ高コストの工事

伸縮装置からの漏水が有る状態と漏水が無い状態における
鋼桁端部の腐食の進展過程の差異を統計モデルにより表現し、
伸縮装置からの漏水が、
鋼桁端部の腐食進展過程に与える影響を定量的に評価

伸縮装置からの漏水状態を適切な時期の点検から把握し、
補修・取替えを実施した場合における
鋼桁端部の劣化予測とライフサイクル費用分析が可能

既往研究と本研究で扱うモデル

橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定（津田等：2005）

気象状況を考慮したポットホール管理重点化ルール（水谷等：2014）

ポットホールの発生確率（ポアソンモデル）が降水量により
気象管理モードである通常モード（発生確率：低）から
異常モード（発生確率：高）に切り替わる過程をモデル化

本研究で扱うモデル

鋼桁端部の腐食進展速度（マルコフ劣化ハザードモデル）が
伸縮装置からの漏水の有無により
漏水管理モードである通常モード（進展速度：小）から
異常モード（進展速度：大）に切り替わる過程をモデル化



桁端部の腐食進展モデルの定式化

漏水管理モードを表す状態変数

$$s \begin{cases} 1 & \text{異常モード (漏水あり状態)} \\ 0 & \text{通常モード (漏水なし状態)} \end{cases}$$

ハザード率

$$\begin{aligned} \lambda_i &= s\lambda_{1,i}^m + (1-s)\lambda_{0,i}^m \\ &= sx_1\beta'_{1,i} + (1-s)x_0\beta'_{0,i} \end{aligned}$$

マルコフ推移確率

$$\pi^{ij}(z) = \sum_{m=i}^j \prod_{r=i, \neq m}^{j-1} \frac{\lambda_r}{\lambda_r - \lambda_m} \exp(-\lambda_m z)$$

z : 点検間隔

i : 事前健全度

j : 事後健全度

x : 特性変数

β : 未知パラメータ



状態変数モデル(マルコフスイッチングモデル)

ハザード率

漏水管理モードの寿命が z 以上になる生存確率
(漏水管理モードが継続する確率)

$$\theta_s = \exp(y_s \alpha'_s)$$

$$\tilde{F}_s(z) = \exp(-\theta_s z) \quad (s = 0, 1)$$

通常モードから異常モードに推移する確率

$$p(\theta_0) = 1 - \tilde{F}_0(z|\theta_0)$$

異常モードから通常モードに推移する確率

$$q(\theta_1) = 1 - \tilde{F}_1(z|\theta_1)$$

y : 特性変数

α : 未知パラメータ

MCMC法によりパラメータをベイズ推計



腐食と防食機能の劣化を統合した健全度の設定

橋梁定期点検要領

板厚減少あり：腐食

板厚減少なし：防食機能の劣化

判断が難しい場合は腐食

健全度	腐食	
	一般的状況	
	損傷の深さ	損傷の面積
1	損傷なし	
2	小	小
3	小	大
4	大	小
5	大	大

健全度	防食機能の劣化
	一般的状況
1	損傷なし
2	最外層の防食塗装に変色が生じたり、局所的なうきが生じている。
3	部分的に防食塗装が剥離し、下塗りが露出している。
4	点錆が発生している。

健全度	防食機能の劣化と腐食
	一般的状況
1	損傷なし
2	最外層の防食塗装に変色が生じたり、局所的なうきが生じている。
3	部分的に防食塗装が剥離し、下塗りが露出している。
4	点錆が発生している。
5	深さ：小，面積：小
6	深さ：小，面積：大
7	深さ：大，面積：小
8	深さ：大，面積：大

サンプル獲得フロー

主桁（端部・支点）の点検記録

1回目： 14,785（526橋）， 2回目： 10,070（426橋）， 3回目： 2,055（99橋）



伸縮装置との位置属性が整合した点検記録

1回目： 3,819（311橋）， 2回目： 2,452（229橋）， 3回目： 583（66橋）



補修履歴を追加

249(44橋)

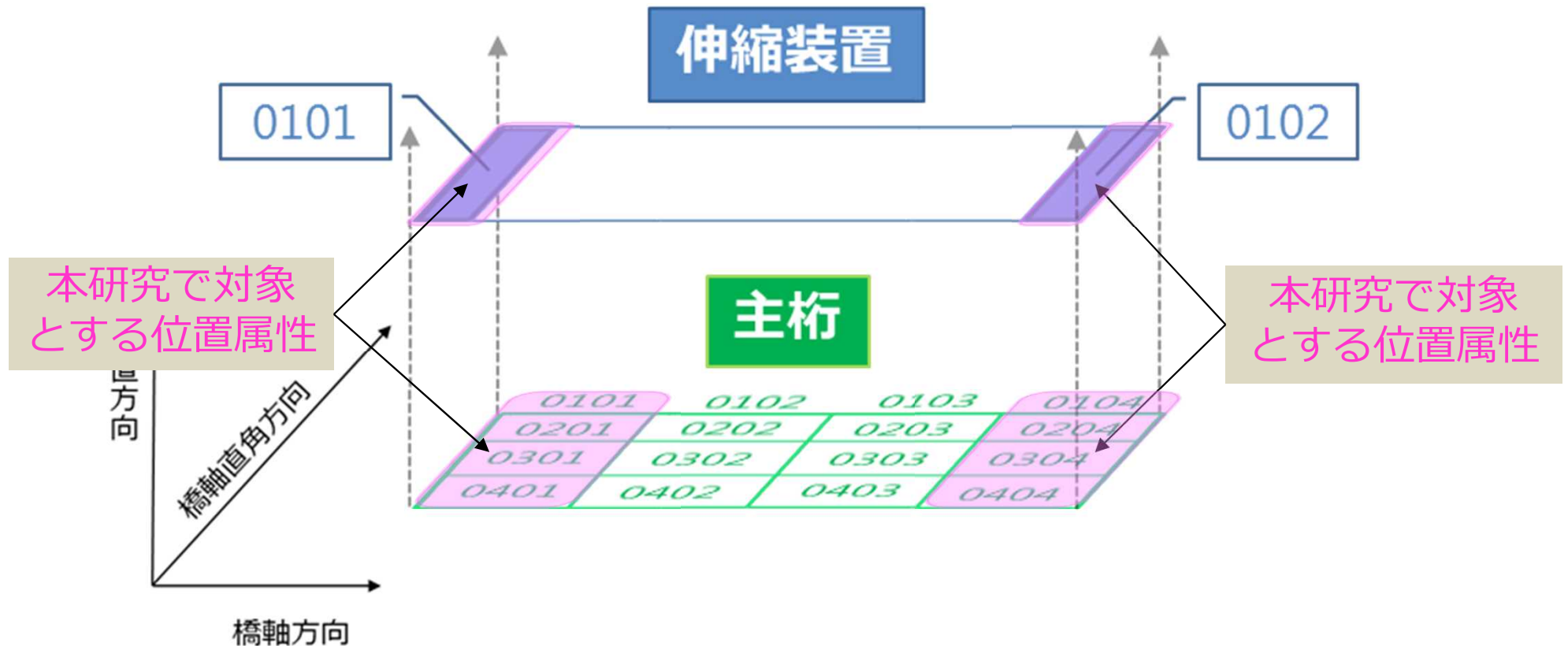


点検間・点検と補修間の健全度の推移をサンプルとする

1,850サンプル（177橋）



伸縮装置と主桁の要素番号と位置属性



要素番号： (数字)

※点検が実施される単位



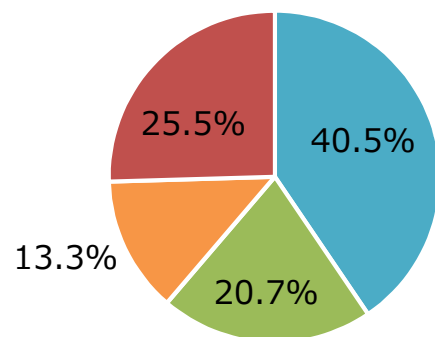
適用データの概要

橋梁数	177
サンプルサイズ	1,850
点検回数	1回～3回
点検年	2004年～2015年
供用開始年	1926年～2005年
橋梁の特性を表すデータ	塩害地域区分, 示方書年度, 12時間交通量, 大型車混入率, 排水施設, 桁形式区分, 材料, 塗装仕様

		事後健全度					
		1	2	3	4	5	6
事前健全度	1	180	69	18	49	153	105
	2	0	166	8	26	17	12
	3	0	0	82	18	12	6
	4	0	0	0	127	82	4
	5	0	0	0	0	374	95
	6	0	0	0	0	0	247

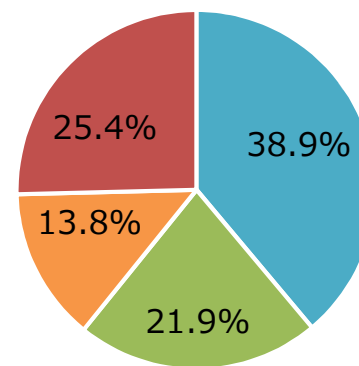
中間と端部の健全度の分布

防食機能の劣化（中間）



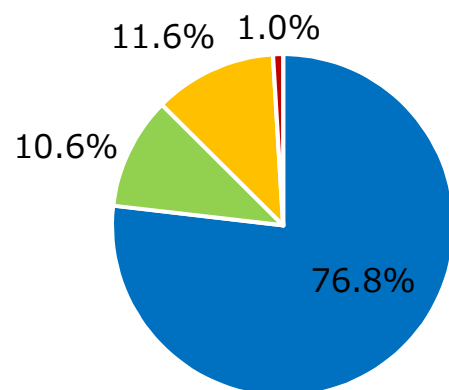
■ 健全度1 ■ 健全度2 ■ 健全度3 ■ 健全度4

防食機能の劣化（端部）



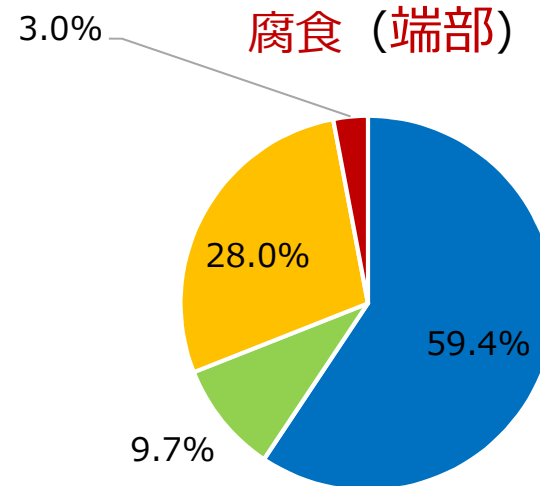
■ 健全度1 ■ 健全度2 ■ 健全度3 ■ 健全度4

腐食（中間）



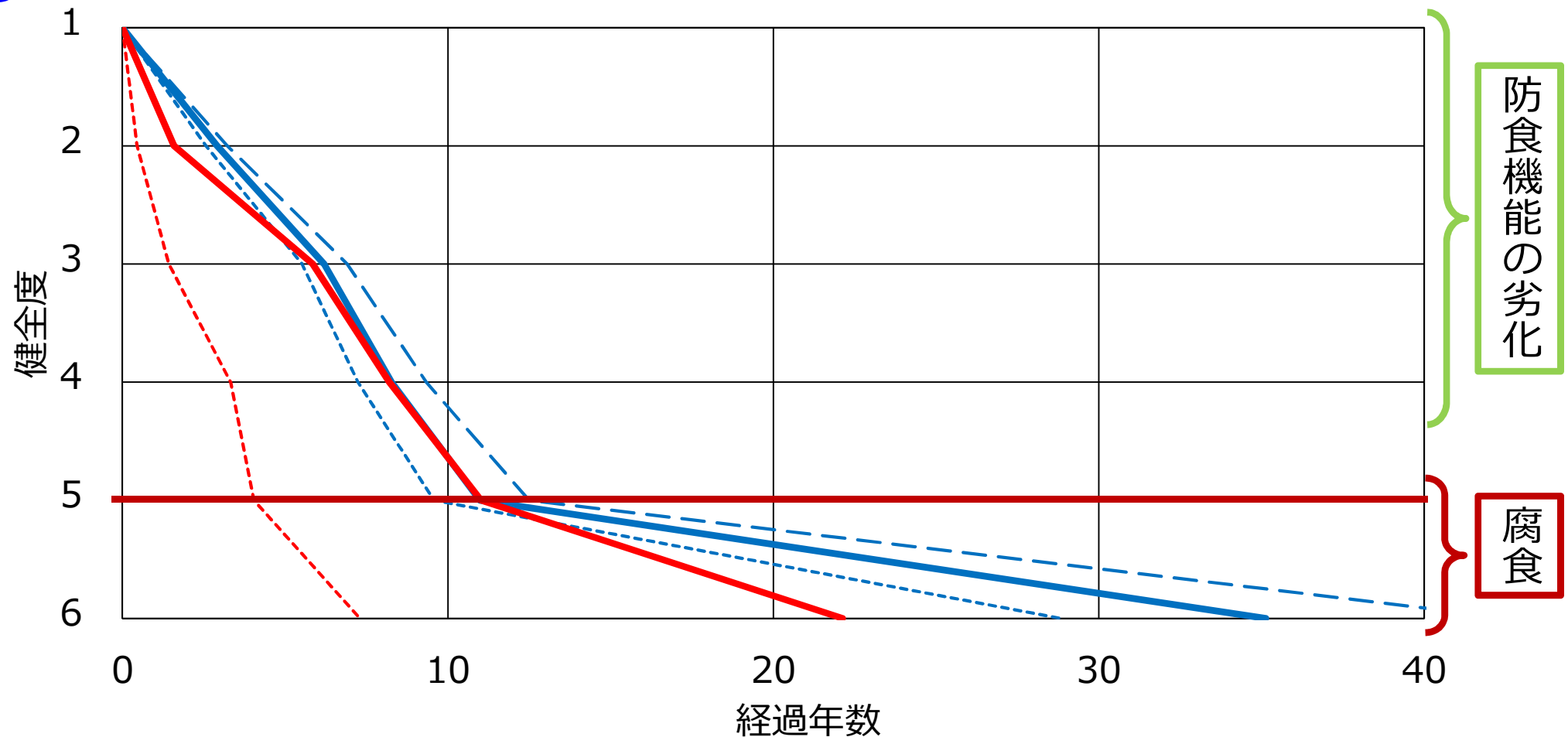
■ 健全度5 ■ 健全度6 ■ 健全度7 ■ 健全度8

腐食（端部）



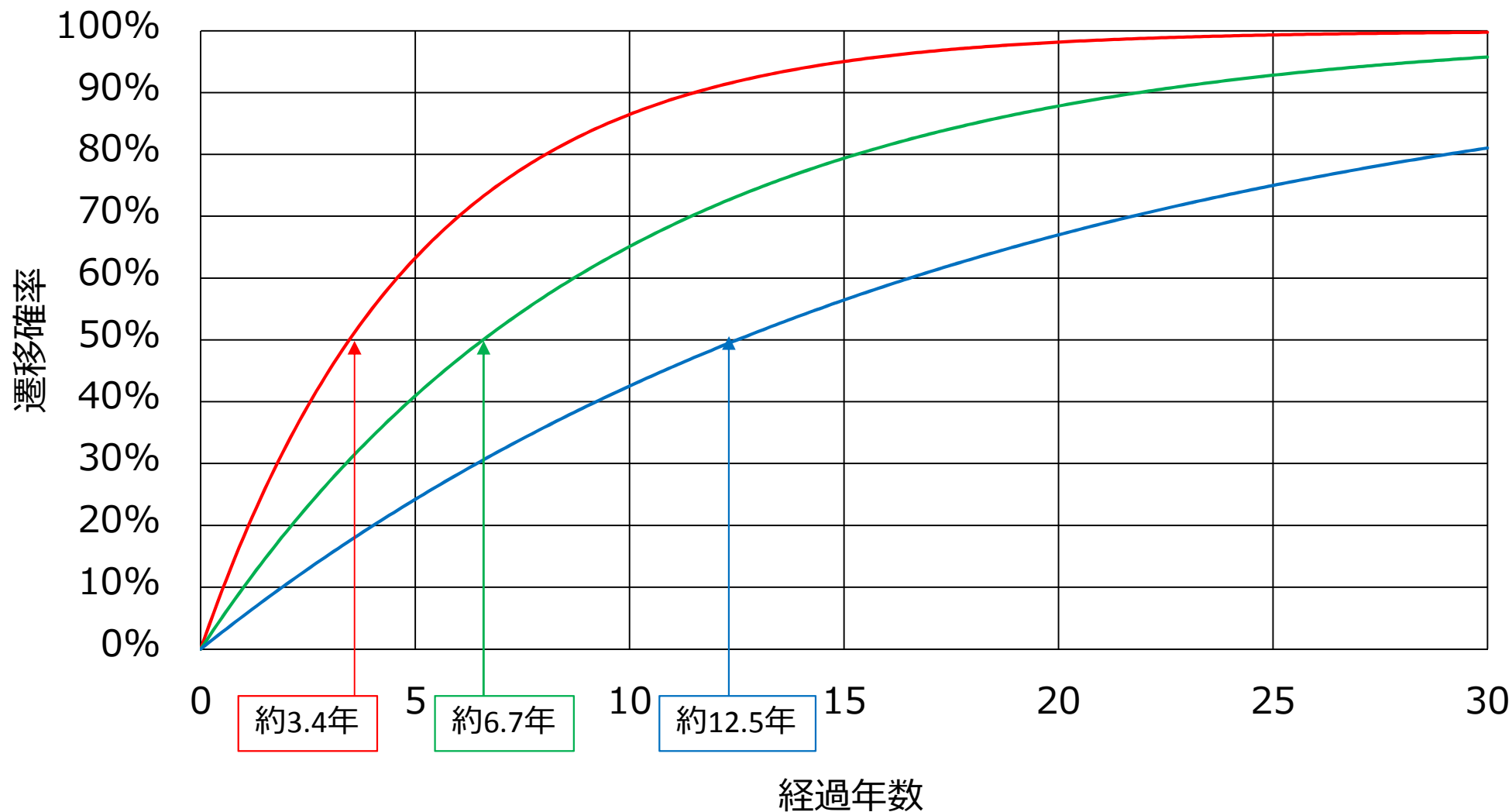
■ 健全度5 ■ 健全度6 ■ 健全度7 ■ 健全度8

主桁（一般塗装系）を対象とした 防食機能の劣化と腐食の進展過程



- 通常モード
- 通常モード (上限10%)
- 通常モード (下限10%)
- 異常モード
- 異常モード (上限10%)

漏水管理モードの遷移確率



— 最大大型車交通量

— 平均大型車交通量

— 最小大型車交通量

最適補修モデル

K個の部材のT期間のライフサイクル費用

$$LCC^{T,d}(z, w) = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+\alpha)^t} [\delta^{t,z} \{ \sum_{k=1}^K s_k^{t,d} c_k^d \} + w]$$

最適補修施策

$$\min_{z,w,d} \{ LCC^{T,d}(z, w) \}$$

d : 補修施策

z : 点検・補修間隔→5年

w : 点検費用→0円

α : 割引率→4%

$s_k^{t,d}$: 補修施策 d 下において
時点 t での部材 k の健全度分布

c_k^d : 補修施策 d 下において
時点 t での部材 k の補修費用ベクトル

ダミー変数 : $\delta^{t,z} = \begin{cases} 1 & \text{点検・補修が実施される場合} \\ 0 & \text{点検・補修が実施されない場合} \end{cases}$

補修単価

主桁の防食機能の劣化・腐食に対する補修

健全度	補修工法	補修費用 (橋面積1㎡当たり)	補修後の 健全度
1	補修なし	—	—
2	3 種ケレン B + 塗り替え(c-1)	33,000 円/㎡	1
3	3 種ケレン A + 塗り替え(c-1)	36,000 円/㎡	1
4	2 種ケレン + 塗り替え(c-1)	62,000 円/㎡	1
5	当て板工	69,600 円/㎡	1
6	取り替え工	550,000 円/㎡	1

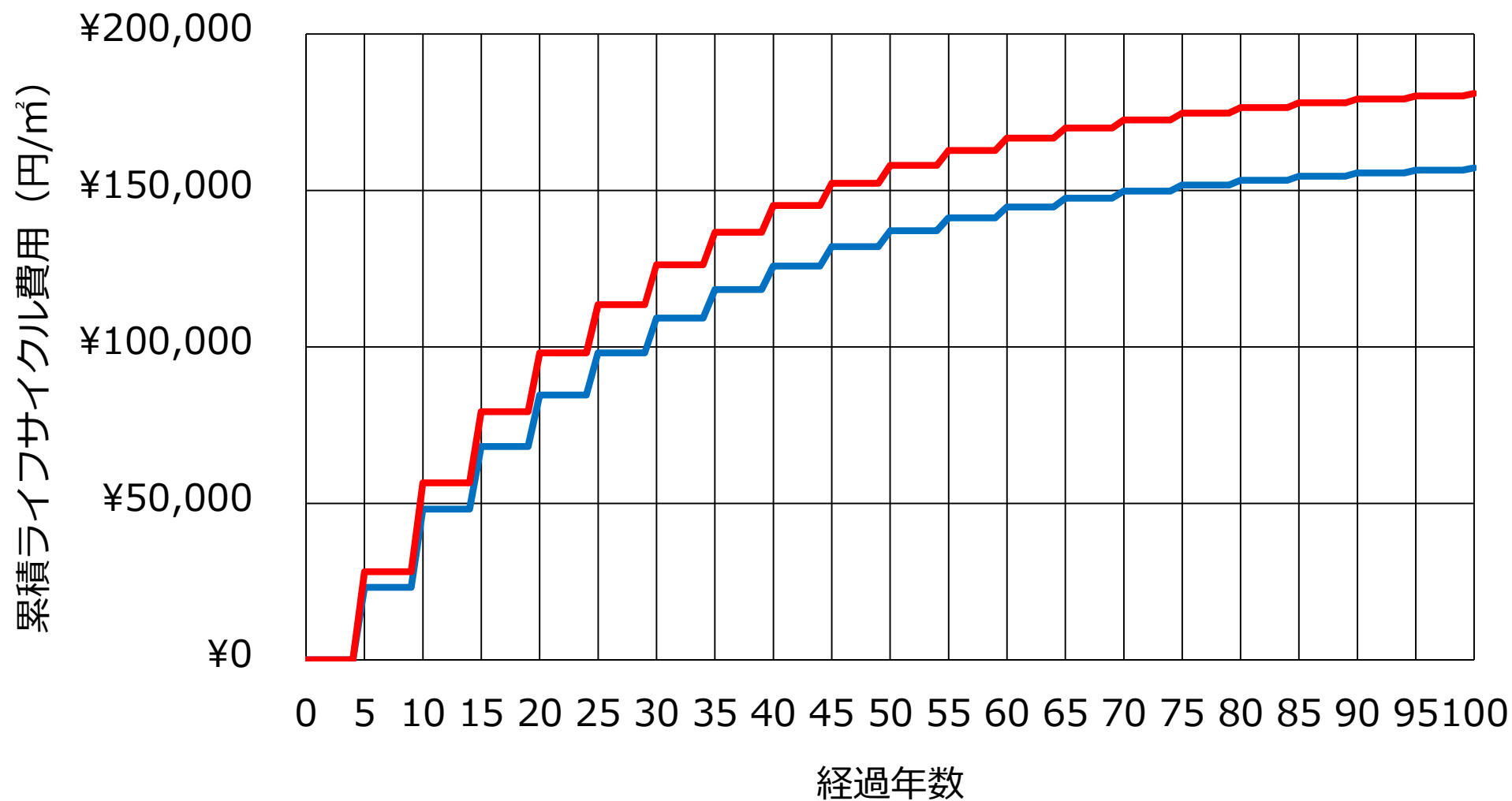
伸縮装置の漏水に対する補修

補修工法	補修費用
取り替え工	250,000 円/m

注) 上記単価は足場費など諸経費40%を含む

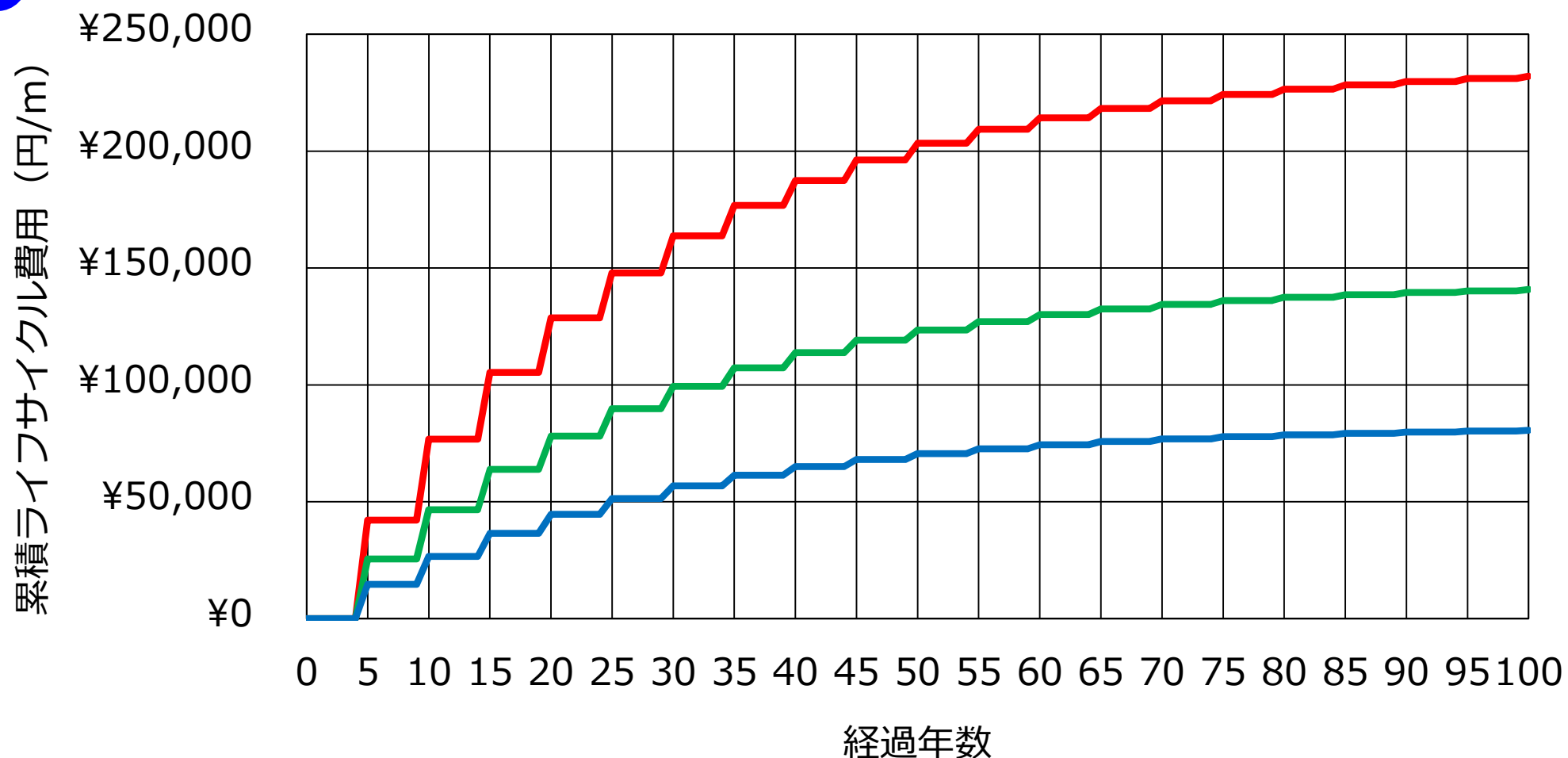


主桁の累積ライフサイクル費用



—最適予防保全施策 —最適事後保全施策

伸縮装置の累積ライフサイクル費用



— 最大大型車交通量 — 平均大型車交通量 — 最小大型車交通量

おわりに

- マルコフ劣化ハザードモデルにレジームスイッチングモデルを援用することにより，伸縮装置からの漏水が桁端部の腐食および防食機能の劣化に与える影響を定量的に表現した．
- 伸縮装置を健全に保つ予防保全施策と，損傷を放置した場合の事後保全施策のライフサイクル費用を比較することにより，最適補修施策を選定した．



次年度に向けての研究方針

- ・ 橋梁全体系への拡張
 - ・ 重要部材の絞り込み
 - RC床版の劣化予測問題への適用
 - 橋梁リスク評価のためのフォルトツリー作成
 - 橋梁健全度評価のためのBHIの検討
 - ・ 京都国道事務所との連携による実務的課題の抽出
- ・ 補修施策プロファイリング手法の検討
 - ・ ベンチマーキング（劣化速度評価）に基づく方法
 - 京都大学SIPの研究成果を参考に
 - ・ ライフサイクル費用に基づく方法
- ・ 点検・簡易補修一括発注方式などの新しい事業形態の検討
 - ・ 簡易補修と補修工事の線引き
 - ・ 法令との整合性



影響度T

