

道路利用条件の変化や長寿命化技術の 導入が舗装寿命に与える影響の 定量的評価に関する研究

大阪大学大学院 工学研究科

地球総合工学専攻

貝戸清之

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

2022年5月31日（火）

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

1

研究背景

- 道路維持管理における路面性状調査車両の普及
- 橋梁に対する5年に一度の近接目視点検の義務化

点検データを活用した
アセットマネジメント技術が普及



一方で、近年の傾向として

- 社会的情勢の変化
- 道路利用に対するニーズの変化
- 法律改正や制度の変化
e.g.) 国際海上コンテナ車通行に対する道路法改正

ニーズの変化をはじめとした様々な道路
利用条件変化のもとで、適切な維持
補修を実施する必要がある

道路利用条件の変化

長寿命化技術の導入

対策

舗装の寿命や劣化速度にもたらす影響を
定量的に評価するための方法論が急務

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

2

2

研究目的

混合マルコフ劣化ハザードモデル：統計的劣化予測手法

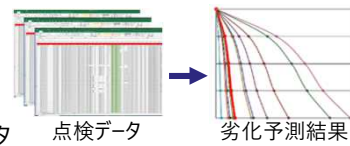
$$\theta_i = \exp(\beta_{i,1} + \beta_{i,2}x_2 + \beta_{i,3}x_3 + \dots + \beta_{i,n}x_n)$$

θ : ハザード率

β : 未知パラメータ

X : 説明変数

$$\theta_i^k = \theta_i \varepsilon^k \quad \varepsilon : \text{グループごとの異質性を表すパラメータ}$$



$$\pi_{i,j} = \sum_{k=i}^j \prod_{m=i}^{k-1} \frac{\theta_m}{\theta_m - \theta_k} \prod_{m=k}^{j-1} \frac{\theta_m}{\theta_{m+1} - \theta_k} \exp(-\theta_k Z) \quad \pi_{i,j} : i \text{ から } j \text{ に健全度が推移する確率}$$

Z : 点検間隔

道路利用条件の変化など供用途中段階における劣化速度の変化を考慮できていない

目的：道路利用条件の変化が舗装寿命に与える影響の定量的評価手法の構築

舗装におけるベンチマークケースの推定（現状の評価）

道路利用条件の変化や長寿命化技術の導入効果などが実施された場合の舗装寿命に与える影響の評価（条件変化後の評価）

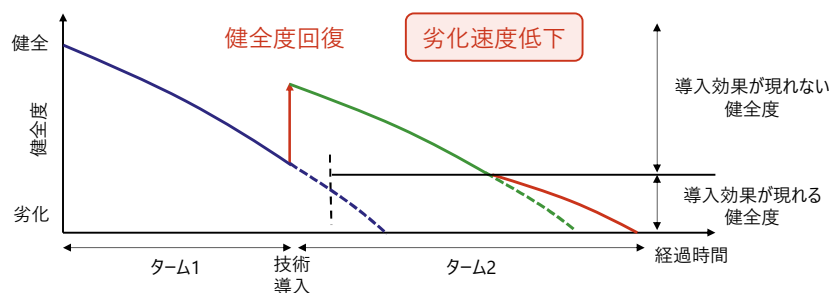
混合マルコフ劣化ハザードモデルを改良することにより、同時に達成する

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

3

3

本研究における長寿命化技術の考え方



本研究では、長寿命化技術=劣化速度の低下が見込める技術とする

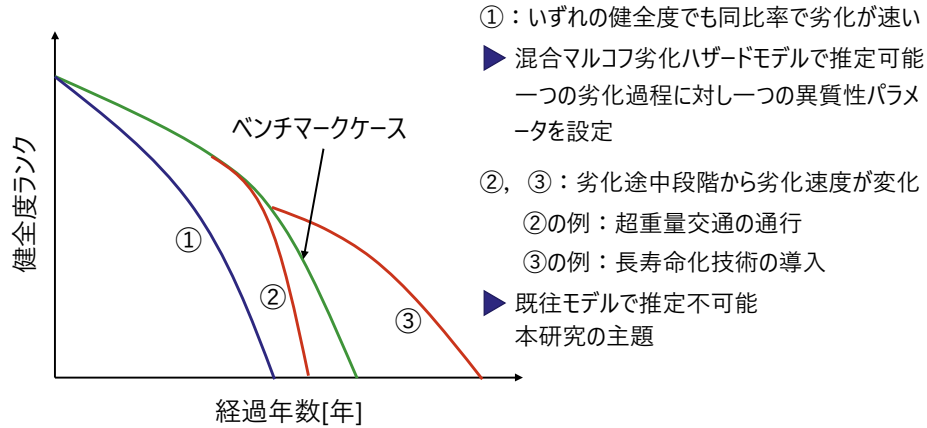
- ・ 導入直後には効果は現れず、劣化が進展しある健全度に達したところで発現
- ・ 上では健全度が回復しているが、回復しない場合であっても適用可能な方法論を構築する

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

4

4

既往研究と問題点



異なる異質性パラメータを健全度毎に定義した
段階的異質性を考慮した混合マルコフ劣化ハザードモデルを構築

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

5

5

モデルの定式化

施設グループ k の施設 l_k の特性を表すベクトル $\mathbf{x}_{k,l_k}$ と
未知パラメータ β_i を用いることで標準ハザード率を表現.

$$\tilde{\lambda}_{i,k,l_k} = \exp(\beta_i \mathbf{x}_{k,l_k}')$$

特性だけでは考慮しきれない様々な要因が存在するため、
それらの影響を表現するため異質性パラメータを導入する.

従来の
混合マルコフ
劣化ハザード
モデルと同様

	従来モデル	提案モデル
施設グループ k の施設 l_k の健全度 i における劣化ハザード率	$\lambda_{i,k,l_k} = \tilde{\lambda}_{i,k,l_k} \epsilon_k$	$\lambda_{i,k,l_k} = \tilde{\lambda}_{i,k,l_k} \epsilon_{i,k}$

従来モデルでは健全度によらず一定としている異質性パラメータを
健全度毎に定義することで健全度毎の段階的な劣化ハザード率
の異質性を考慮することが可能.

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

6

6

実証分析1：舗装ベンチマークケースの推定

高速道路舗装における路面性状データを用いて、表層の劣化過程を分析（現状の評価）

➤ 路面指標：（ IRI ひび割れ わだち掘れ ）

➤ 評価長：（ 10m 100m 200m ）

➤ 期間：2015年～2020年

➤ 属性情報：舗装構成、構造物区分、交通量

※ 同地点での点検回数が2回以上のデータを使用

健全度の設定

IRI(mm/m)	健全度
IRI≤1.0	1
1.0<IRI≤1.5	2
1.5<IRI≤2.0	3
2.0<IRI≤2.5	4
2.5<IRI≤3.0	5
3.0<IRI≤3.5	6
3.5<IRI	7

◆ 劣化特性カテゴリ

舗装構成 × 構造物 × 交通量

高機能
土工
橋梁
重交通
中交通

の4種類の劣化特性カテゴリを定義

➤ データ数

- 高機能×土工×重交通 : 10,471
- 高機能×土工×中交通 : 8,909
- 高機能×橋梁×重交通 : 6,564
- 高機能×橋梁×中交通 : 2,182

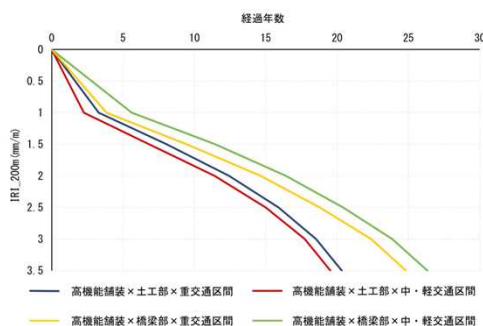
Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

7

7

実証分析1：分析結果

・ 舗装寿命の推定結果（劣化曲線）



・ パラメータの推計結果

健全度 i	定数項 $\beta_{i,1}$	構造物区分 $\beta_{i,2}$	交通量区分 $\beta_{i,3}$
1	-1.35 (-0.62)	0.53 (0.99)	-0.38 (-0.53)
2	-1.72 (0.95)	0.20 (-0.94)	-0.04 (-0.31)
3	-1.65 (1.63)	0.12 (-1.95)	0.04 (-0.77)
4	-1.42 (1.48)	0.15 (-1.46)	0.03 (-1.45)
5	-1.28 (-0.04)	0.27 (0.09)	0.04 (-0.22)
6	-0.89 (0.01)	0.31 (1.02)	-0.01 (-1.27)

※ () 内はGeweke検定統計量

・ 各カテゴリごとの補修目標値（IRI=3.5）に達するまでの経過年数

劣化特性カテゴリ	経過年数	劣化特性カテゴリ	経過年数
高機能×土工×重交通	20.34	高機能×橋梁×重交通	26.33
高機能×土工×中交通	19.53	高機能×橋梁×中交通	24.83

いずれの場合においても目標値に達するまでの経過年数は20年程度

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

8

8

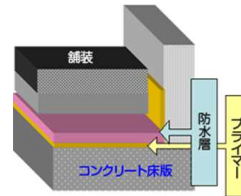
実証分析2：長寿命化技術導入効果の検討

本研究対象は舗装であるが、分析に用いるための適切なデータが存在していなかったため、高速道路橋のRC床版に発生しているひび割れデータに適用

データ諸元

適用対象	高速道路橋のRC床版に発生するひび割れ
径間数	754
パネル数	16,726
点検年度	1968~2015

対象とする長寿命化技術
=床版防水層の施工



獲得サンプル

		事後健全度			
		1	2	3	4
事前健全度	1	67,467	1,273	869	94
	2	-	757	1	0
	3	-	-	2,088	75
	4	-	-	-	46

異質性パラメータの数

健全度	施工前	施工後
1	688	100
2	307	45
3	411	18

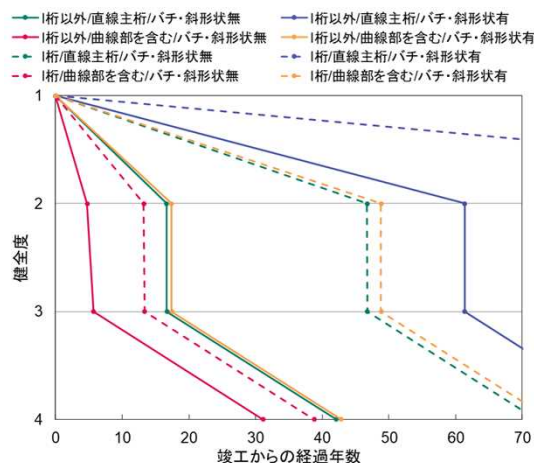
Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

9

9

実証分析2：劣化予測結果

・RC床版寿命の推定結果（劣化曲線）

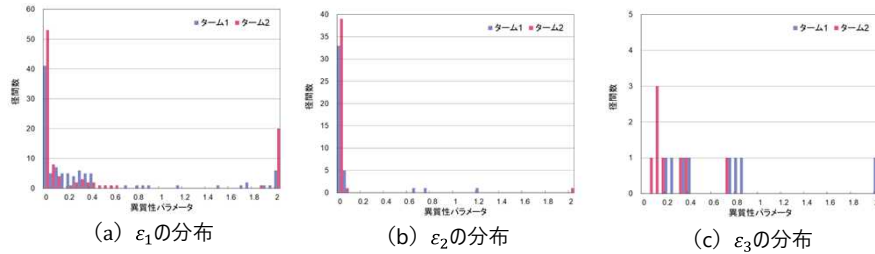


Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

10

10

実証分析2：異質性パラメータの分布



- ・長寿命化技術導入前後の劣化過程が観測されている施設グループが対象
- ・導入前後で平均、分散が異なっていることが確認される
- ・統計的検定を用いてターム間（長寿命化技術導入前後）における異質性パラメータの分布の変化を評価

	個数	補修ターム	平均	分散
ε_1	100	1	0.52	1.30
		2	1.58	12.56
ε_2	41	1	0.08	0.05
		2	0.08	0.16
ε_3	8	1	1.05	1.87
		2	0.26	0.04

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

11

11

実証分析2：導入効果の事後評価

評価手法：Wilcoxonの符号付順位検定

対応のある2群間のデータの中央値の差異に関する検定

長寿命化技術導入前後の異質性パラメータ集合間の中央値の差異を検定し、劣化速度の変化が有意であるかを分析する

※ Hodges-Lehmann-Sen推定量：2群間の差の推定量

状態	検定統計量	片側検定	床版防水施工による劣化速度の変化	Hodges-Lehmann-Sen推定量
線形ひび割れ発生段階 (健全度1→2)	2.27	棄却されず	-	-
線形ひび割れの進展段階 (健全度2→3)	-2.44	棄却	劣化速度減少	-0.006
亀甲状ひび割れの発生段階 (健全度3→4)	36	棄却	劣化速度減少	-0.358

長寿命化技術の導入効果が健全度によって変化することが示された

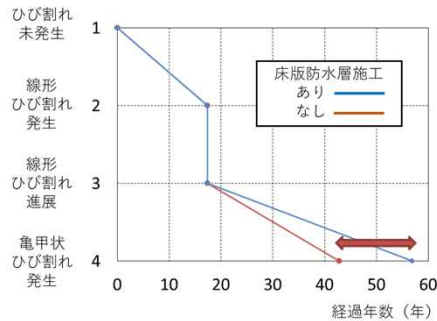
Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

12

12

実証分析2：導入効果の結果に対する考察

RC床版の期待劣化パスの一例



床版防水層（長寿命化技術）の導入により期待劣化パスに差異がある

- ・ ひび割れ未発生～線形ひび割れの発生，進展段階（潜伏期）：
乾燥収縮もしくは輪荷重が要因となるため，劣化パスの差異はない
- ・ 線状から亀甲状ひび割れの発生段階（進展期）：
輪荷重走行の繰り返しが必要となり雨水等が影響を及ぼすため，劣化パスに差異が生じる

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

13

13

まとめ・今後の課題

- ・ 舗装路面性状調査データを用いた舗装ベンチマークケースの寿命推定
- ・ 段階的異質性を考慮した混合マルコフ劣化ハザードモデルによる長寿命化技術の定量的な評価方法の構築
- ・ 長寿命化技術導入効果の経年的な変化のモデル化
- ・ 方法論の標準化と新しい舗装マネジメント論の深度化

Copyright © Osaka University Infrastructure Management Lab

14

14