

第VI部門

長寿命化技術導入効果の経時変化を考慮したワイブル劣化ハザードモデル

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○宇野 裕亮

大阪大学大学院工学研究科 正会員 貝戸 清之

京都大学経営管理大学院 フェロー 小林 潔司

大阪大学大学院工学研究科 学生員 二宮 陽平

1.はじめに

近年，限られた予算，人員の中で老朽化の進む社会基盤施設（以下，施設）の維持管理を効率的に行うために，新たな補修工法，建設材料，構造形式など，施設の長寿命化を図るための技術（以下，長寿命化技術）の開発が行われている．このような長寿命化技術の導入プロセスにおいては，シミュレーションや実験などによる評価を行った後に，実施設に対して試行的に導入し，どのような特性を持つ施設にどのような長寿命化技術が効果的であるのかを適切に評価し，本格的な導入を行ってゆくことが望ましい．また，すでに多くの施設に対して適用されている長寿命化技術の実施設における効果を適切に把握し，長寿命化技術の取捨選択を通じて，施設のマネジメントサイクルを継続的に改善してゆくことも必要となる．長寿命化技術の導入効果について，シミュレーションや実験を通じて検証を行った，あるいは，個別の施設に関して長寿命化技術導入前後の施設の状態を追跡調査した事例はあるものの，本格的に導入がなされた長寿命化技術の実用下における導入効果を寿命や劣化速度の差異として定量的に評価した事例は数少ない．また，長寿命化技術の導入効果を定量的に評価した事例においても導入効果を一定として評価しており，導入効果が経時変化することを評価した事例は筆者の知る限り存在しない．管理者が管理する膨大な施設群に対して，適切なタイミングで適切な長寿命化技術を導入し，施設群の価値を最大化してゆくためには，長寿命化技術がどのような特性を持つ施設に対しどのような効果があるのかを適切に評価することが望ましい．本研究では長寿命化技術導入効果が経時変化する統計的劣化予測モデルを構築する．さらに実高速道路橋におけるRC床版に発生しているひび割れ損傷に対する目視点検データを用い

て本研究で提案するモデルの実証分析を行う．

2.モデルの定式化

本研究では長寿命化技術の導入前後の劣化速度の差異を定量化することを目的とする．具体的には長寿命化技術導入後には長寿命化技術導入前の劣化速度に補正がかかると考える．ある施設において，施工からの時刻を t ，長寿命化技術導入からの時刻を τ とし，長寿命化技術導入前をターム1，長寿命化技術導入後をターム2と定義する．ターム間の劣化速度が

$$\lambda_2(t) = \eta(\tau)\lambda_1(t) \quad (1)$$

の関係性があると仮定する． $\lambda_u(t)$ はターム u における劣化速度を， $\eta(\tau)$ は経時変化する長寿命化技術導入効果を規定する関数（以下，変化率規定関数）である．いま，ターム1における劣化速度 $\lambda_1(t)$ としてワイブル劣化関数を用いることで変化率規定関数の経時変化による寿命の変化をモデル化することが可能である．変化率規定関数 $\eta(\tau)$ に関しては様々な関数形が考えられるが，劣化速度の定義や本研究においては長寿命化技術が劣化速度を抑制させる効果があること，また十分時間が経過した後には長寿命化技術導入による劣化速度を抑制する効果が減少すること考慮し制約条件

$$\begin{aligned} 0 \leq \eta(\tau) \leq 1 \\ \lim_{\tau \rightarrow \infty} \eta(\tau) = 1 \end{aligned} \quad (2)$$

を定めた．一般に劣化予測モデルを定式化する際には力学的メカニズムによる定式化または経験による定式化が行われるが，本研究で対象とする長寿命化技術導入効果に関する知見は十分蓄積されているとはいえない．そのため本研究では制約条件を満たすいくつかの関数形を比較検証し最適な変化率規定関数を決定する．

3.実証分析

本研究で提案するモデルを実高速道路橋のRC床版に

表-1 変化率規定関数の候補

Brody 曲線	$\eta(\tau) = (1 - (1 - \eta_r)\exp(-c\tau))$
Bertalanffy 曲線	$\eta(\tau) = \left\{1 - \left(1 - \eta_r^{\frac{1}{3}}\right)\exp(-c\tau)\right\}^3$
Logistic 曲線	$\eta(\tau) = \left(1 + \left(\frac{1}{\eta_r} - 1\right)\exp(-c\tau)\right)^{-1}$
Gompertz 曲線	$\eta(\tau) = \eta_r^{\exp(-c\tau)}$

表-2 推計結果

β	m	η_r	c	AIC
-20.21	4.83	0.0019	1.17	3299.26

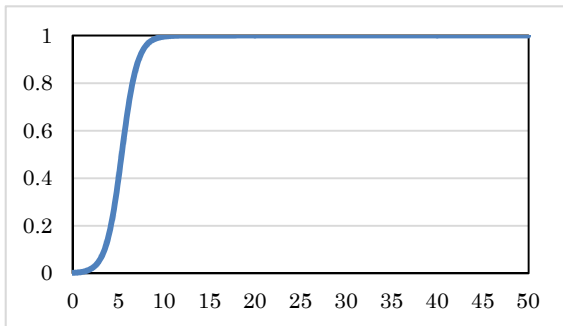


図-1 変化率規定関数

発生しているひび割れに対して適用した。目視点検においてはひび割れの幅や長さに応じて多段階の離散的な判定が実施されている。本研究で提案するモデルではワイブル劣化ハザードモデルを用いており、劣化事象を2段階の離散的な判定に集約する必要がある。そのため、実証分析に用いたデータではひび割れが発生している床版か、発生していない床版か2段階に分類し、データベースを作成した。その結果、サンプルサイズは9,508サンプルであった。長寿命化技術として本研究では床版防水層の施工を対象とした。これはRC床版に床版防水層が施工されることによって床版内部に水の浸入が無くなり、損傷発生を抑制する効果を持つと考えられるからである。データベースの中で、床版防水層が施工されているサンプルは2,164サンプルであった。変化率規定関数として、本研究では1)Brody曲線、2)Bertalanffy曲線、3)Logistic曲線、4)Gompertz曲線の4種類を比較検証することとした。それぞれの関数形に関しては表-1に示す。これらデータベース及び変化率規定関数を用いてパラメータのベイズ推計を実施した。その結果AICを比較することで変化率規定関数として、Logistic曲線が採用された。Logistic曲線を変化率規定関数として採用した場合のパラメータ推

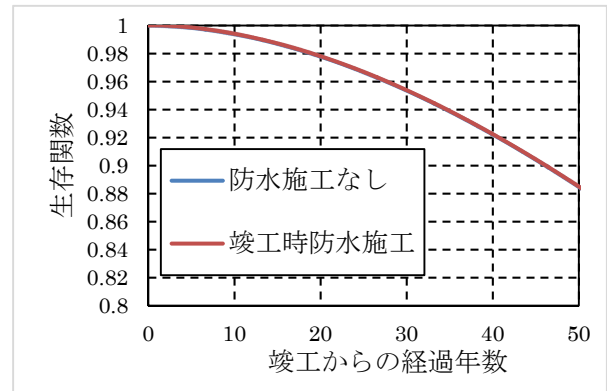


図-2 長寿命化技術導入の有無による生存関数の変化

計結果を表-2に示す。このときの変化率規定関数を図-1に示している。これより床版防水層施工による効果は10年程度で減衰していくことが得られた。また、この変化率規定関数を用いて竣工時に床版防水層を施工した場合と、床版防水層を施工しない場合の差異を図-2に示している。これによってひび割れ損傷の発生に対しては床版防水層の施工による長寿命化効果は存在しないことがわかる。本分析において対象としたひび割れ損傷の発生過程に関しては、乾燥収縮等の初期欠陥が多く存在していると考えられ、RC床版内部に水が侵入するか否かは損傷発生過程に大きな影響を与えていない場合が考えられる。実際、データベースを作成する際に、ひび割れ損傷が発生しているか否かではなく、亀甲状ひび割れが発生しているか否かを用いた場合、床版防水層施工による亀甲状ひび割れ発生抑制効果が見受けられた。

4. おわりに

本研究では、長寿命化技術の導入効果が経時変化する統計的劣化予測モデルを構築した。また、本研究で提案するモデルを用いて実高速道路橋で得られたデータを分析することで床版防水層がひび割れ発生過程に及ぼす影響を定量化した。今後の課題として、本分析では特定の劣化過程における特定の長寿命化技術の効果を定量化したに過ぎず、今後適応範囲を拡大する必要がある。また長寿命化技術の導入効果が損失する場合と存在しない場合が分離できない問題点が存在するため、今後これらを分離できるような手法を開発する必要がある。

【参考文献】青木一也，山本浩司，小林潔司：劣化予測のためのハザードモデルの推計，土木学会論文集，No. 791，IV-67，pp111-124，2005