

鋼床版の疲労亀裂発生予測に基づく大規模修繕対象箇所を選定

大阪大学大学院工学研究科 学生会員 ○二宮陽平

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

1. はじめに

我が国の高速道路においては、近年、構造物の老朽化が問題となっている。修繕の必要な損傷の数が加速的に増加しており、維持管理費の飛躍的な増大が将来的に見込まれている。そのため、従来主体となっていた個々の損傷に対して事後的に修繕を行うような修繕施策のみならず、構造物全体に対して大規模な修繕を実施することにより、構造物の健全性を供用開始当初のレベル、あるいはそれ以上のレベルにまで回復させ、損傷の発生を抑制するような修繕施策が高速道路各社で検討されている。実際に、管理する個々の構造物に対して最適な修繕施策を決定するためには、構造物のライフサイクル費用（以下、LCC）を考慮することが望ましい。本研究では、点検データを用いた構造物の劣化予測結果に基づいて、LCCの観点から最適な修繕施策を決定する手法を構築する。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 損傷発生過程のモデル化

青木等の提案したワイブル劣化ハザードモデル¹⁾を用いて、構造物に発生する損傷の発生過程をモデル化する。構造物の供用開始時点をもととする時間軸上の任意の時点 t において、損傷が発生している確率 $F(t)$ は、

$$F(t) = \exp(-\lambda t^\alpha) \quad (1)$$

と表せる。ただし、 λ, α は未知パラメータである。

(2) 構造物に対する修繕施策の評価

本研究では、修繕施策の評価に平均費用法を用いる。小林は平均費用最小化原理にもとづく同手法を用いることにより、構造物の最適修繕施策を求めることができると指摘している²⁾。具体的には、候補とした修繕シナリオごとに平均費用を計算し、それが小さいものほど有利な修繕シナリオであると判断する。ここで、平均費用は、

$$\text{平均費用} = \frac{\text{ライフサイクル費用}}{\text{ライフサイクル期間長}} \quad (2)$$

として計算できる。

3. 実証分析

鋼橋の代表的な損傷である疲労亀裂を対象として、実在する高速道路鋼橋の点検データを用いた実証分析を行う。表-1に本実証分析で用いた点検データの概要を示す。修繕単位を車線、亀裂が発生する可能性のある箇所を鋼橋における溶接部と設定する。鋼橋に対しては定期的な点検が実施され、各溶接部における亀裂の発生の有無に関する点検データが記録されている。本研究では、ワイブル劣化ハザードモデルにこれらの点検データを適用し、亀裂の発生予測を実施した。さらに、径間の特性を表現するデータを説明変数としてモデルに考慮し、説明変数間の相関係数や赤池情報量基準をもとに最適なワイブル劣化ハザードモデルのパラメータを、

$$\lambda = \exp(-15.670 + 11.069x_1 - 1.082x_2 - 0.764x_3 + 1.627x_4 + 0.919x_5) \quad (3)$$

$$\alpha = \exp(-0.479 + 0.484x_2 + 0.209x_3 - 1.926x_4 - 0.773x_5) \quad (4)$$

と判断した。ただし、 $x_1, \dots, x_5$ はダミー変数であり、具体的に表-2に示す。さらに最適モデルを用いた亀裂の発生予測を実施し、実際に点検データとして記録されている観測値との比較を実施した。その結果を図-1に示す。同図は、横軸を最新の点検データとして記録されている観測値、縦軸を最適モデルを用いて予測した予測値としたグラフであり、本研究で用いた1,700車線をプロットしている。さらに、切片を0とした回帰直線、決定係数も示している。同図から、最適モデルが亀裂の発生をおおむねよく予測できていることが確認できる。

そこで、最適モデルを用いた亀裂発生の将来予測を実施し、1)通常修繕シナリオ、2)大規模修繕シナリオの

キーワード：統計モデル、点検データ、ライフサイクルコスト、最適化、アセットマネジメント

連絡先：〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 工学研究科 E4-332 TEL:06-6879-7622

表-1 点検データ概要

車線数	1,700
竣工年度	1983-1997
点検年度	2006-2015
溶接部数	227,910
点検データ数	5,828

表-2 モデルに採用した説明変数

説明変数	特性変数	ダミー変数の設定
2015年時点での亀裂発生の有無	x_1	1 亀裂が発生している
		0 亀裂が発生していない
桁種別	x_2	1 箱桁
		0 I桁
連続径間	x_3	1 連続径間
		0 単純径間
主桁形状	x_4	1 曲線主桁
		0 直線主桁
パチ桁・斜形状	x_5	1 パチ桁・斜形状
		0 それ以外の形状

2 シナリオをそれぞれ各車線に設定し、シナリオごとに平均費用を試算した。2 シナリオに共通の条件設定として、LCC の計算期間を 2115 年までの 100 年間（ライフサイクル期間長）とした。

通常修繕シナリオにおいては、車線内の亀裂数が 20 に達した時点で、車線に存在する全亀裂に対して一斉に修繕を行い、亀裂数を 0 に戻す。本シナリオにおける LCC は、1)亀裂の修繕に要する 100 年間の費用、2)2115 年時点で残存している亀裂を修繕する費用の和で表現できる。ただし、亀裂 1 つあたりの修繕費用を過去の修繕履歴から 100 万円と設定した。一方で、大規模修繕シナリオにおいては、2020 年までは、通常修繕シナリオと同様の修繕を実施し、2020 年時点で車線の舗装路面に対し、SFRC 舗装（鋼繊維コンクリート舗装）を施工する。それ以後は、亀裂は発生しないと想定した。本シナリオにおける LCC は、1)2020 年までに発生する亀裂の修繕に要する費用、2)2020 年時点で残存している亀裂を修繕する費用、3)2020 年時点での SFRC 舗装の施工費用の和で表現できる。ただし、SFRC 舗装の施工費用を過去の修繕履歴から 57,520(円/m²)と設定した。

以上の設定をもとに、各車線において平均費用を計算した。その結果を図-2 に示す。2015 年時点で亀裂が発生していない 1,553 車線に関しては、将来の亀裂発生数が極めて小さく推定されているため、通常修繕シナリオにおける平均費用が大規模修繕シナリオにおける平均費用に対して極めて小さいと算出されている。そこで、2015 年時点で亀裂が発生している 147 車線のみを同図にプロットしている。同図から、通常修繕シナリ

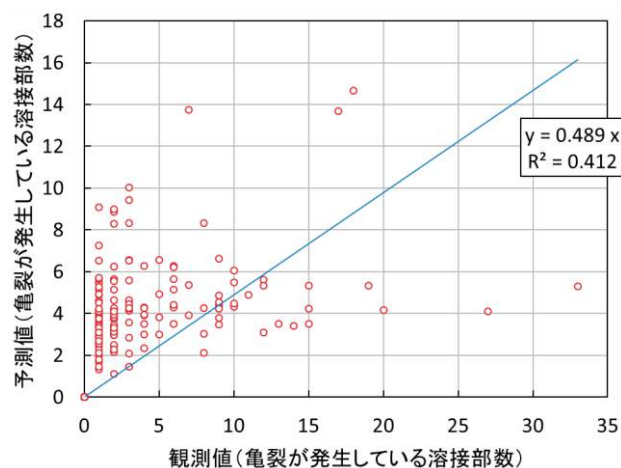


図-1 観測値と予測値の整合性

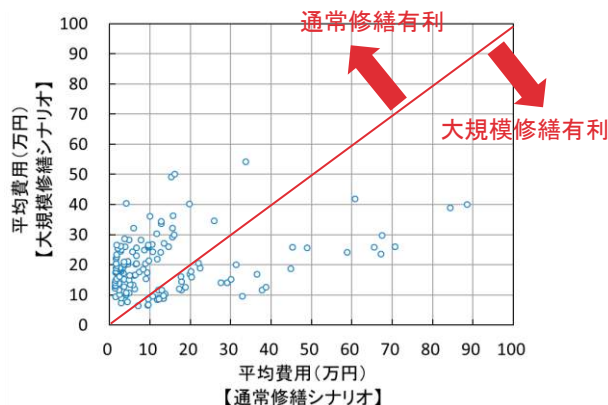


図-2 平均費用の計算結果

オにおける平均費用が、大規模修繕シナリオにおける平均費用を上回っている車線に対して大規模修繕施策を適用することが、LCC の観点から有利な施策であること、それ以外の車線に関しては、通常修繕施策を適用することが、LCC の観点から有利な施策であると判断できる。

4. おわりに

本研究では、LCC の観点から最適な修繕施策を決定するための方法論を提案した。今後は、大規模修繕の事業期間や予算等の制約条件を考慮し、各構造物に対する最適な修繕施策や修繕実施タイミングを決定できる方法論の開発が必要となる。

参考文献

- 1) 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/VI-67, pp.111-124, 2005.
- 2) 津田尚胤, 貝戸清之, 青木一也, 小林潔司: 橋梁劣化予測のためのマルコフ推移確率の推定, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.68-82, 2005.