

橋梁の本体工における劣化の時間依存性（ワイブル性）の検討

阪神高速道路株式会社
 (財)阪神高速道路管理技術センター
 中央復建コンサルタンツ(株)
 京都大学経営管理大学院

正会員 ○坂井 康人
 荒川 貴之
 正会員 井上 裕司
 小林 潔司

1. はじめに

阪神高速道路では、合理的な維持管理とアカウントビリティの向上を目的に、阪神高速道路橋梁マネジメントシステム（H-BMS）を開発を進めている。H-BMSの劣化曲線は点検データを統計処理して推計しているが、この際、損傷ランクの低下確率は経過年数に関係なく一定と仮定している。しかし、実際には建設直後と100年後の劣化速度は異なると予想されることから、今回、橋梁の本体工を対象に、劣化の時間依存性（ワイブル性）について検討した。

2. ハザード関数と H-BMS の劣化モデル

青木らは、損傷が幾つかのランクで評価される場合の機能の低下を(1)式のワイブルハザード関数で定義し、変数を点検結果から最尤推定する手法を提案している。ここで、 $\lambda_i(y_i)$ はハザード関数であり、時刻 y_i において健全度 i から $i+1$ に推移するときの確率密度を示している。 θ は i に固有の定数パラメータ、 α_i は劣化の加速度パラメータであり、図-1に示すように、 $0 < \alpha_i < 1$ なら時間の経過と共に劣化の進行が遅く、 $\alpha_i = 1$ なら時間の経過に関わらずに一定、 $1 < \alpha_i$ なら時間の経過に伴って加速度的に劣化が進行する現象を表している。このように、ワイブルハザード関数では、時間の経過に伴う劣化速度の変化を表現することができる。

$$\lambda_i(y_i) = \theta \alpha_i y_i^{\alpha_i - 1} \quad (1) \text{式}$$

$$\lambda_i(y_i) = \theta \quad (2) \text{式}$$

現在の H-BMS の劣化モデルでは、推計を容易にするために、損傷ランクの低下確率を一定と仮定し、(1)式の α_i を1とした(2)式の指数関数をハザード関数として、点検結果から(2)式の θ を推計している。

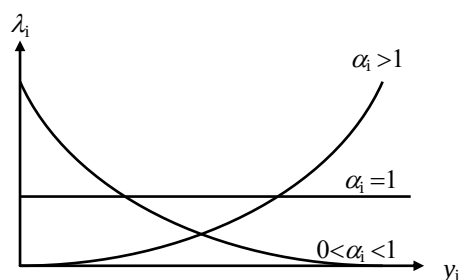


図-1 ワイブル関数

3. 検討方法

検討は、(1)点検データを竣工からの経過年数毎にグループ化し、ハザード関数を指数関数とした時に算出される劣化曲線を比較する方法と、(2)ハザード関数をワイブル関数と指数関数の両方でモデル化し、両者の推計結果を比較する2つの方法で実施した。検討は、コンクリート桁、コンクリート橋脚、床版の3工種を対象とし、推計データには平成19年7月時点で阪神高速道路のデータベースシステムに蓄積されていた資産、点検、補修データを用いた。

4. 検討結果

(1) 経過年数が劣化速度に与える影響検討

点検データを経過年数10年毎にグループ化して指数関数で確率推移行列を推計し、劣化曲線を算出した結果の一例を図-2に示す。これより、PC桁は経過年数に関係なくほぼ同じ劣化曲線となり、経過年数に伴う劣化速度の変化が見受けられなかった。一方、RC桁は、経過年数1年～10年の劣化が最も遅く、経過年数31年～40年の劣化が最も早い結果となり、経過年数の増加に伴って劣化速度が速くなる傾向が見受けられた。

次に、10年毎の経過年数毎に分けずに全体のデータから算出した劣化曲線を基準に、経過年数10年毎のデータから算出した劣化曲線の速度比をプロットした結果を図-3に示す。なお、図-3(a)のRC床版部は、RC桁と一体打設された床版部であり、図-3(b)の梁・PCと梁・RCはそれぞれコンクリート橋脚の張り出し梁の部分がPC構造のものとRC構造のもの、柱・未補強は柱部で鋼板接着補強が施されていないものである。

図-3より、コンクリート桁のPC桁とコンクリート橋脚の柱・未補

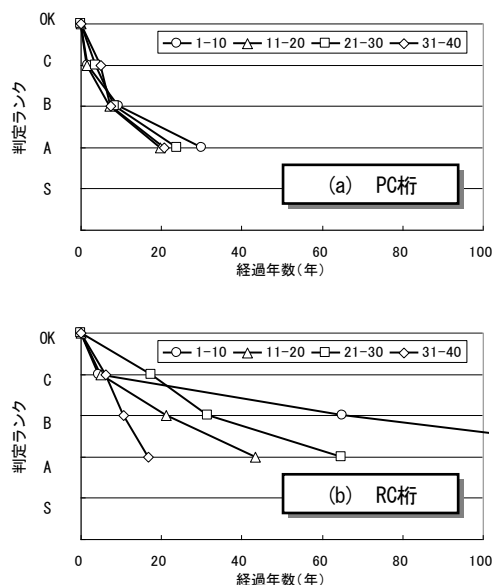


図-2 経過年数による劣化曲線の変化

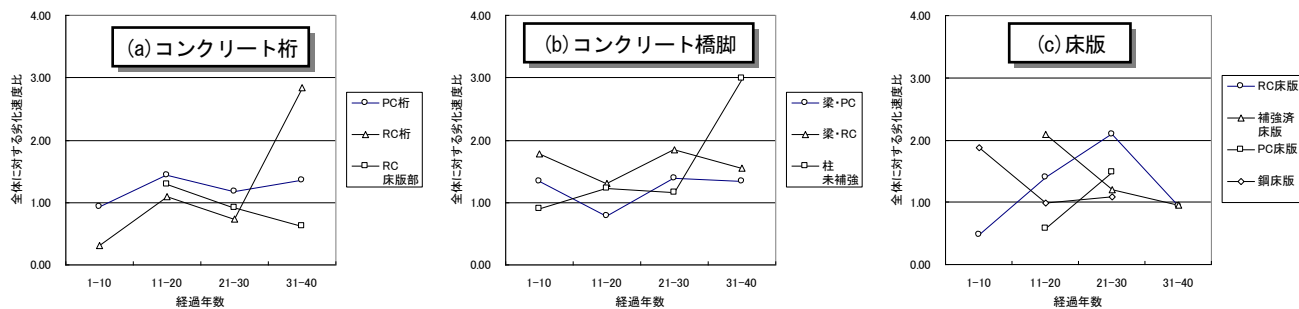


図-3 経過年数による劣化曲線の変化

強は、経過年数の増加に伴って劣化速度が速くなる傾向を示したが、コンクリート桁の RC 床版部や鋼床版、補強済床版は、逆に経過年数の増加に伴って劣化速度が遅くなる傾向を示した。また、PC 桁、梁・PC、梁・RC は経過年数の増加に伴ってあまり変化しなかった。また、PC 床版は経過年数が 1 年～10 年と 31 年～40 年の劣化速度が遅く、その間の 11 年～20 年と 21 年～30 年の劣化速度が速くなる変則的な傾向を示した。

(2) ワイブル関数と指数関数による比較検討

ワイブル関数と指数関数の2つのハザード関数で推計した確率推移行列の結果の例として、RC床版の損傷確率の推移図を図-4に示す。図-4は、経過年数0年時点で100%健全（OK）である場合に、時間の経過に伴って健全度が低下する様子を表している。

図-4より、RC床版では、指数関数よりワイブル関数の方が健全度の低下が早くなる結果となった。しかし、RC桁では、指数関数よりワイブル関数の方が健全度の低下が遅い結果となり、RC床版と逆の傾向となった。

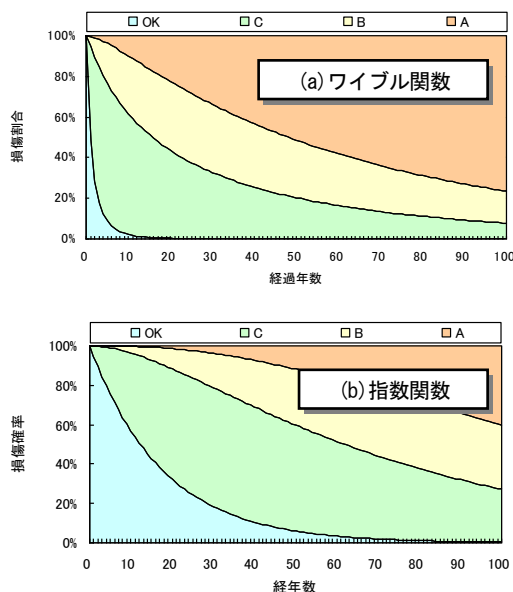


図-4 RC床版の推計結果（損傷確率推移図）

4. 結果に対する考察

3. (1)では、一部の部材で経過年数の増加に伴って劣化速度が速くなる傾向が見られたものの、全体的には一定の傾向が確認できなかった。また、3. (2)では、当初、ワイブル関数では経過年数に伴う劣化速度の増加が考慮できることから、指数関数よりワイブル関数の方が劣化が早くなると思われたが、RC床版では予想した傾向が得られたものの、RC桁では逆にワイブル関数の方が劣化が遅くなる結果となった。さらに、3. (2)の結果は3. (1)の結果と必ずしも一致しなかった。

以上のように、今回の検討では劣化の時間依存性を明確に確認できなかった。この原因としては、以下のような理由が考えられる。

- 1) 阪神高速道路では構造物を高い水準で維持しているため、損傷ランクの低いデータが十分観測されていない。
- 2) 経過年数が最大でも40年程度であり、損傷が多数発生する摩耗期に到達していない。
- 3) 点検データを工種や経過年数毎に分割したことによってデータ数が少なくなり、バイアスがかかった。

5. 最後に

ハザードモデルは故障モデルであるため、精度良く推計するためには十分な観測データが必要である。阪神高速道路ではすでに膨大な点検データを蓄積しているものの、経過年数がまだ40年程度であることや、比較的高い水準で構造物を維持管理していることから、損傷ランクの低いデータが十分観測されないことが判明した。このような理由から、現時点では劣化の時間依存性を考慮せず、ハザード関数を指数関数と仮定して劣化曲線を算出する方が現実的であると考えられる。なお、本報は阪神高速道路技術審議会道路資産管理システム分科会において実施した検討の一部をまとめたものである。

【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) 青木一也, 山本浩司, 津田尚胤, 小林潔司: 多段階ワイブル劣化ハザードモデル, 土木学会論文集, No.798/VI-68, pp.125-136., 2005