

劣化進行の不確実性を考慮する補修計画最適化のための劣化曲線作成について

北海学園大学大学院 学生員 齋藤 善之

北海学園大学 正会員 杉本 博之

1. まえがき 橋梁維持管理システムでは劣化予測を行うが、劣化にはその橋梁が置かれている環境や荷重状態といった種々の不確実な要因が含まれているため、同種の構造材料および部材であったとしても劣化進行が全く同じになるとは限らないことから、劣化予測において不確実性を考慮する必要があると考えられる。図-1は北海道の橋梁点検における鋼橋の主桁の点検結果 1894 点を示したものであるが、同一の健全度でも供用年数は広く分布しており、一意的な劣化予測を行うことは困難である。そこで本論文では、部材ごとに複数の劣化曲線を設定し、不確実性を考慮するための劣化モデルを作成することを目的とした。

2. 劣化曲線 維持管理計画策定へ用いることを前提とした劣化予測に不確実性考慮の導入を試みる。筆者らは既に、部材の健全度を用いた補修費算定のためのコストモデルおよび最適補修計画策定手法を公表し、そこではある供用年における健全度を予測する劣化予測式として次の式を用いている^{1),2)}。

$$r(y) = -3.5 \left(\frac{y-1}{y_0-2} \right)^f + 5 \quad (y \geq 1, y_0 > 2) \quad (1)$$

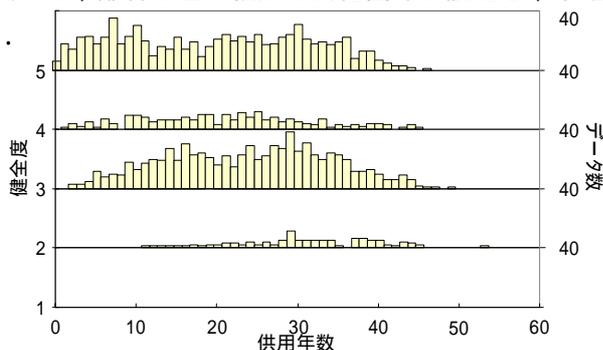


図-1 鋼橋、主桁の点検結果

ここで、 $r(y)$ は供用年数 y 年における健全度(5 が健全, 1 が最も劣化した状態), y_0 は耐用年数, f は劣化曲線の形状係数を表す。式(1)中の耐用年数 y_0 は、部材が供用に耐えうる年数を示した値であり、供用年数 y が $y > y_0 - 1$ の条件を満たした時、健全度 $r(y)$ は最も劣化した状態を表す 1 となる。また、形状係数 f は劣化曲線の形状を決定する値であり、 $f=1.0$ のとき劣化曲線は直線となり、 f の値が大きくなると劣化曲線は上に凸の曲線となる。

3. 北海道の橋梁点検 本論文では北海道の橋梁点検の点検結果を劣化予測に用いた。以下にその詳細を示す。

北海道では、北海道が管轄する橋梁に対して 5 年に一度遠望目視による定期点検が行われており、一回目の定期点検が平成 14~17 年度にかけて実施され、そのデータは平成 20 年度現在で 5012 橋存在する。北海道の橋梁点検では、部材ごとに劣化状況が 5 段階の損傷度で評価されており、本論文ではこの損傷度を健全度に対応させて扱う。また、橋梁の構成部材は主桁、副部材、床版、躯体、基礎、支承、伸縮装置、橋面工の 8 部材とした。ここで、劣化進行は橋梁の構造材料により異なると考えたため、点検データを鋼橋とコンクリート橋に分けた。どちらにも分類できなかった橋梁を除いて鋼橋 1914 橋、コンクリート橋 2340 橋の計 4254 橋分のデータを劣化予測に用いた。

4. 劣化モデルの作成 点検データから算出した健全度 2~5 の平均供用年数から、耐用年数を変数とした最小二乗法によって基準となる劣化曲線(以下、基準曲線)を作成し、得られた耐用年数を y_0 とする(図-2)。確率論の観点から考えると生起確率を持った劣化曲線を作成する場合、生起確率をあらかじめ決定しそれに対応する劣化曲線を作成して然るべきであるが、こちらについては現在検討中であり、本論文では図-2に示すように基準曲線の他に式(1)中の耐用年数をそれぞれ $y_0-2\alpha, y_0-\alpha, y_0+\alpha, y_0+2\alpha$ とした 4 本の劣化曲線を加えた計 5 本の劣化曲線を先に決定した上で、点検データから生起確率を算出するといった手順をとった。劣化曲線の生起確率は、図-3に示すようにその劣化曲線の耐用年数に -0.5α および $+0.5\alpha$ した 2 つの劣化曲線に囲まれる範囲に存在する健全度 1~4 のデータ数を全データ数で除することによって算出する。作成する劣化モデルはモンテカルロ法を用いた最適補修計画策定問題に用いることを前提としていることから総組み合わせ数を抑えるため、基準曲線の耐用年数の値に近い主桁、副部材、床版、基礎、支承の 5 部材を部材グループ A、躯体、伸縮装置、橋面工の 3 部材を部材グループ B として 8 部材を 2 つのグループに分けた。 α の値については値が大きいと劣化曲線群がまばらとなってしまう、逆に小さいと生起確率算定に関わるデータ数が少なくなるため信用あるモデルとは言えなくなることから $\alpha=10$ 年を用いた。

キーワード 不確実性, 劣化曲線, 健全度, 耐用年数, 生起確率

連絡先 〒064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11 丁目 1-1 TEL(011)841-1161

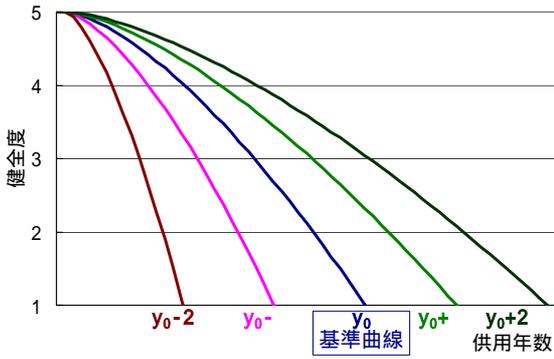


図 - 2 劣化曲線群

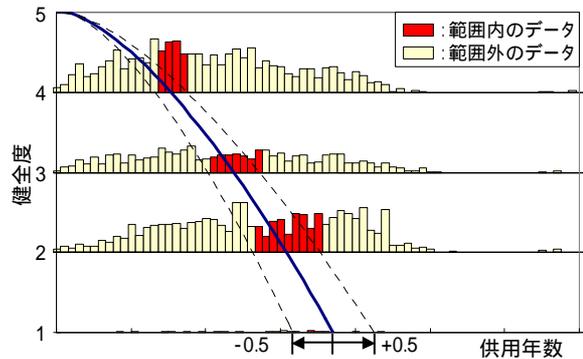


図 - 3 生起確率の算定

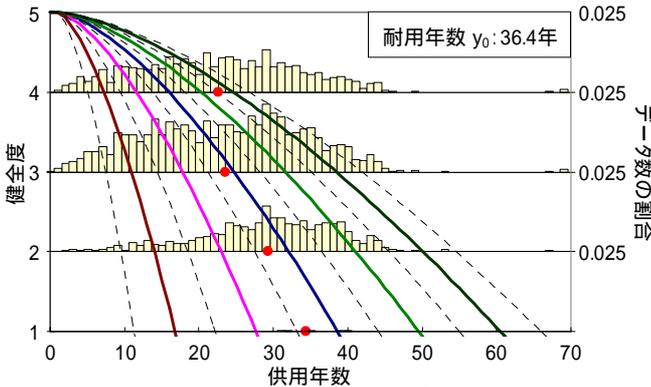


図 - 4 鋼橋 部材グループ A

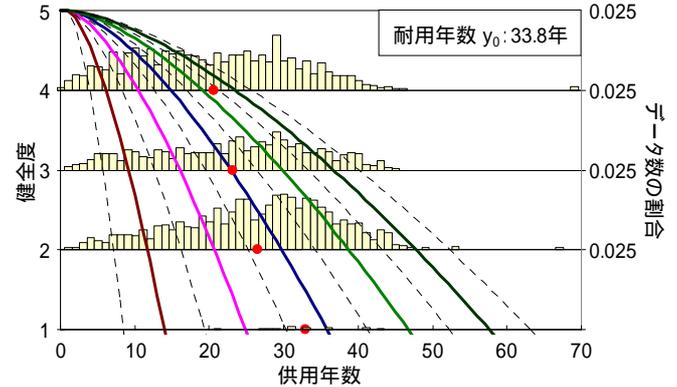


図 - 5 鋼橋 部材グループ B

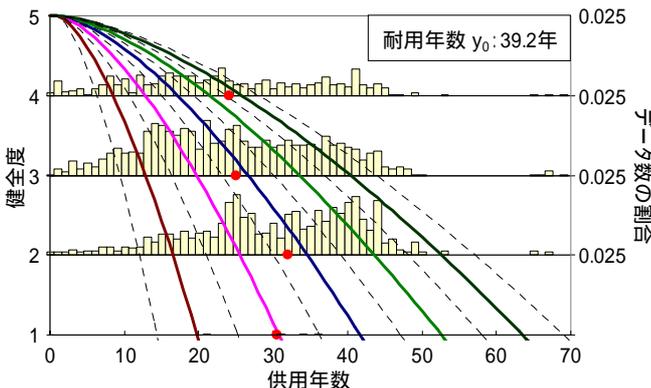


図 - 6 コンクリート橋 部材グループ A

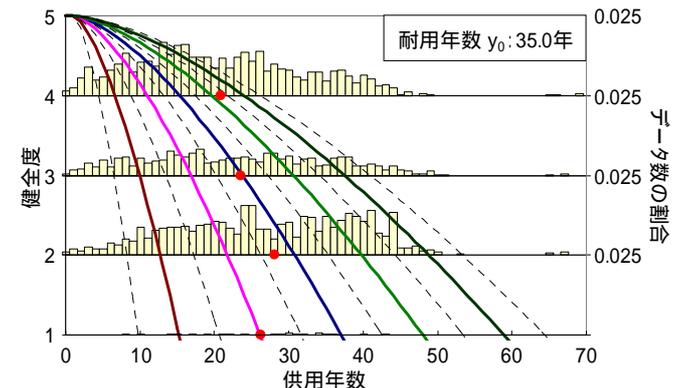


図 - 7 コンクリート橋 部材グループ B

表 - 1 生起確率と耐用年数

劣化 曲線	生起確率 (耐用年数)			
	鋼橋		コンクリート橋	
	グループA	グループB	グループA	グループB
y_0-2	0.1235 (16.4)	0.1263 (13.8)	0.1555 (19.2)	0.1401 (15.0)
y_0-	0.1805 (26.4)	0.1884 (23.8)	0.2037 (29.2)	0.1951 (25.0)
y_0	0.2324 (36.4)	0.2295 (33.8)	0.2128 (39.2)	0.1788 (35.0)
y_0+	0.1928 (46.4)	0.1859 (43.8)	0.1641 (49.2)	0.1768 (45.0)
y_0+2	0.0881 (56.4)	0.0895 (53.8)	0.0812 (59.2)	0.0971 (55.0)
総和	0.8173	0.8196	0.8173	0.7880

また、形状係数 f については複数の値で検討を試みた結果 $f=1.5$ を用いた³⁾。作成した劣化曲線群を図 - 4~7 に、生起確率と耐用年数を表 - 1 に示す。図中の は各健全度の平均供用年数を、棒グラフは各健全度、供用年数に該当するデータ数の全データ数に対する割合を示している。ここで、例えば図 - 4 に示す劣化曲線群の健全度 4 のデータでは供用年数が 5 年未満および 27 年以上となるデータは生起確率算定には反映されていない。しかしこれらのデータは過去に補修した部材のデータであることが予想され、止むを得ない結果であるといえる。従って生起確率の総和は 1.0 とはならないため、作成した劣化モデルを用いる際は生起確率を正規化して用いる。

これらのデータは過去に補修した部材のデータであることが予想され、止むを得ない結果であるといえる。従って生起確率の総和は 1.0 とはならないため、作成した劣化モデルを用いる際は生起確率を正規化して用いる。

5. まとめ 本論文では北海道の橋梁点検結果から、構造材料別および部材グループ別の劣化曲線群を作成し生起確率を算定した。作成した劣化モデルを用いた最適補修計画の策定については別に発表する。

参考文献 1) 杉本, 赤泊, 中野, 渡邊: 北海道の橋梁の補修費計算モデルの構築と最適維持管理計画について, 応用力学論文集 Vol.6, pp.1121 - 1130, 2003. 2) 杉本, 阿部, 赤泊, 渡邊: 公共投資の経年的シナリオに対する橋梁の健全度推移に関する研究, 土木学会論文集, No.780 / I-70, pp.199-209, 2005. 3) 上田: 将来の不確実性を考慮した橋梁の劣化予測に関する基礎的研究, 北海学園大学 平成 20 年度卒業論文。