

橋梁点検データベースの統計解析に基づく鋼橋 RC 床版の健全度評価と劣化予測の検討

岐阜大学大学院 学生会員 ○流石 堯
岐阜大学 正会員 本城 勇介
岐阜大学 正会員 大竹 雄

1. 研究の背景と目的

国や地方自治体は、定期点検をはじめ橋梁の計画的な維持管理に取り組んでいる。定期点検結果等の維持管理に関する情報が蓄積され、統計的に維持管理の枠組みや要素技術の検証、高度化を検討する最善の時期にある。筆者らは以下の 2 つの要素技術に着目し、点検データの統計解析によりその高度化を目指している。

(a) 健全度評価

橋梁各部材の健全度は補修や経過観察等の判断を行うための総合的な指標と位置付けられる。筆者らはこれまでに、細目の点検項目から合成変数として計算される連続量で健全度を評価する手法を提案している¹⁾。

(b) 劣化予測モデルの構築

橋梁管理者が対象とする橋梁群は、様々な形式と環境条件下に存在し劣化傾向や劣化機構が個々に異なる。そこで、現存する様々な経過年数の橋梁群を適切に層別し、劣化予測モデルを構築することが現実的といえる。本研究では、最適な対策時期や対策方法の異なる劣化機構に着目し、層別をしたうえで劣化予測モデルの構築を試みる。

2. 研究の方法

2.1 使用データ

岐阜県が 2001～2006 年度に行った定期点検結果²⁾を統計解析する。対象橋梁は、橋長 15m 以上、竣工年度が 1956 年以降の岐阜県全域 342 橋である。また、対象部材は鋼橋 RC 床版である。点検項目は 10 項目で構成され、それぞれ a (健全)～e (危険) の 5 段階で評価される。各々の橋梁の点検調査書には、変状写真が付属しており劣化機構を判別できる。

2.2 解析の手順と手法

点検データを用いた解析は以下の手順で行う。

(a) 健全度評価と橋梁群の層別

点検データに主成分分析を適用し、部材の健全性を連続量で評価する主成分を抽出する。さらに、主成分分析より得られた新しい指標の下で、コンクリート標準示方書³⁾に従い、変状写真から劣化機構を判読し、橋梁群を劣化機構の違いにより層別する。

(b) 潜在変数を考慮した劣化予測

劣化機構は、写真判読では特定することの難しい不確実な要素が含まれ、確定的に定まらないデータも存

在する。そこで、異なる性質を有するデータや判別の難しいデータが混在するモデルについて、データを幾つかのグループに分類する問題や各々の分布のパラメータ推定に用いられる混合分布問題⁴⁾を橋梁群の層別に適用する。この混合分布問題では、データ群を層別する指標である潜在変数を用いて、複数の分布から構成されるモデルを表現する。例えば、混合分布を構成する分布が 4 つ ($i=1\sim 4$) あるとして、1, 2 番目のデータ ($j=1, 2$) に対する潜在変数 w_{ij} を次のように表す。

$$[w_{ij}]^k = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

このとき、1, 2 番目のデータはそれぞれ 4, 1 の分布に従うことを表す。このようにどのデータがどの分布に従うかが既知であれば、0-1 変数で w_{ij} の各要素を表すことができる。しかし、実際にはどの分布に属するかを特定できない問題を扱うため、0～1 の連続値で w_{ij} の各要素を記述することになる。本稿では、この潜在変数を考慮した劣化予測モデルの構築を試みる。

3. 解析結果と考察

健全度評価と橋梁群の層別についての詳細は文献 1) を参照されたい。主成分分析より、全体的な劣化の程度を表す第 1 主成分と、中性化に関連する剥離と鉄筋露出の点検項目が正の向きに寄与し、疲労に関連するひびわれの項目が負の向きに寄与する第 2 主成分を抽出した。さらに変状写真判読で、橋梁群全体を 4 グループ (潜伏期, 施工不良, 中性化, 疲労) に層別した。

劣化予測を行うに当たり、次の指標を定義する。上述の第 2 主成分の点検項目の寄与を踏まえ、剥離指数 NE とひびわれ指数 FA を(2)式で算出する。

$$NE = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 x_j, FA = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 x_k \quad (2)$$

ここで、 x_j は剥離と鉄筋露出に関する 4 項目のスコア、 x_k はひびわれに関する 3 項目のスコアである。さらに、

$$HI.1 = (NE + FA)/2, HI.2 = NE - FA \quad (3)$$

と定義する。HI.1 は全体的な劣化を表す第 1 主成分と、HI.2 は第 2 主成分に対応する指標である。この HI.1-HI.2 平面上にプロットされた橋梁群を混合分布と捉え、劣化予測モデルの構築を試みる。写真判読で層別された 4 グループの分布を図-1 のような HI.1-HI.2 平面上の 2 変

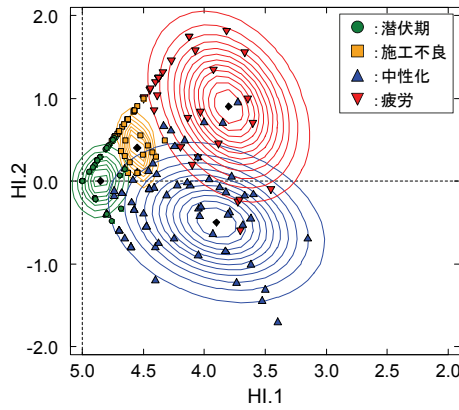


図-1 HI.1-HI.2 平面上の橋梁群と確率密度関数のコンター

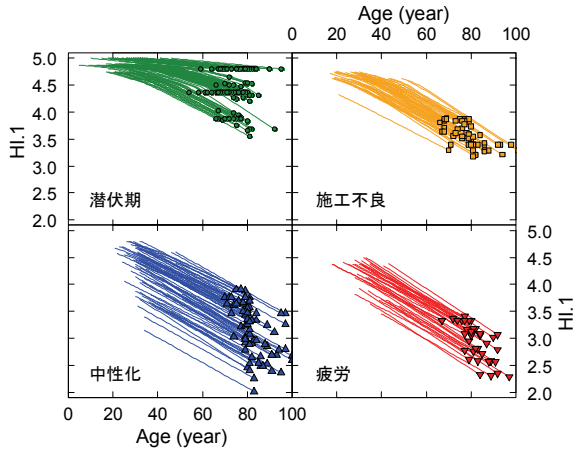


図-2 50年後の HI.1 の予測結果

数正規分布 ϕ_i と仮定した。この 4 グループの確率密度関数から潜在変数は次式で求まる。

$$w_{ij} = d_i \phi_i / \sum_{k=1}^4 d_k \phi_k \quad (4)$$

d_i は混合比を表し、潜在変数から次式で算出される。

$$d_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n w_{ij} \quad (5)$$

次に部材の経年劣化を、目的変数 y を剥離指数 NE とひびわれ指数 FA、説明変数 t を建設からの経過年数とする切片 5 の回帰モデルで表現し、それぞれ 4 種類設定する。潜在変数を考慮した回帰モデルは次式となる。

$$y = \sum_{i=1}^4 w_{ij} (5 + \beta_i t + \varepsilon_i) \quad (6)$$

ここで、 β_i は回帰係数、 ε_i は誤差項を表す。この回帰モデルを用いた劣化予測は次の手順により行う。

- 1) 初期 ($t=0$) の回帰モデル(6)式に基づき、 Δt 年後の剥離指数 NE・ひびわれ指数 FA を計算する。
- 2) (3)式により、HI.1 と HI.2 に変換し、これに伴い潜在変数も(4)式で更新する。
- 3) 1), 2)を繰り返し、 t 年後の劣化程度を予測する。

この解析手順に従い、50 年後の劣化予測を行った。図-2 は HI.1 と経過年数の関係である。50 年間の HI.1 の推移を線分で、最終的な HI.1 をプロットで表す。中性化と疲労のグループは劣化の推移が皆同様である一

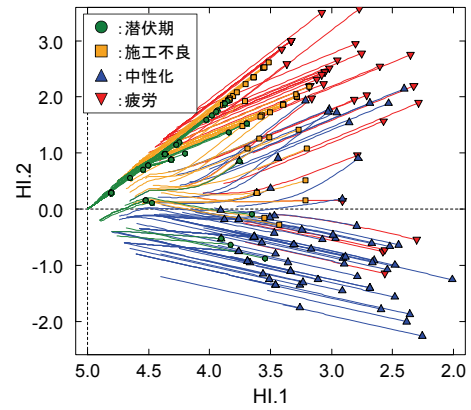


図-3 50 年後の HI.1-HI.2 平面上における予測結果

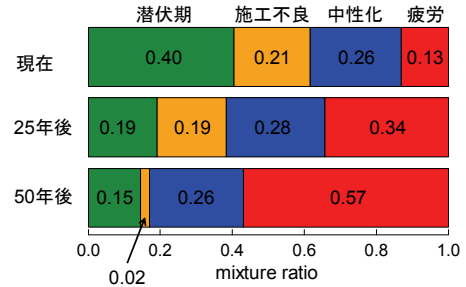


図-4 混合比の推移

方、潜伏期のグループは劣化がほとんど進展しないデータと進展するデータに分岐することが読み取れる。

図-3 は HI.1-HI.2 平面上の推移を表している。中性化と疲労のグループの多くが、それぞれ HI.2 の負の向き、正の向きに進展している。また図-4 は、現在、25 年後、50 年後の混合比 d_i の内訳を表しており、現在劣化機構が顕在化していない潜伏期と施工不良のデータが結果的に他の劣化機構に推移することが分かる。以上の予測結果は、初期の確率密度関数 (図-1) の設定方法に大きく依存する。HI.1-HI.2 平面上での層別結果から、適切な確率密度関数を定義することを検討していく。

4. まとめと今後の課題

既に提案した健全度評価と層別を行った橋梁群について、潜在変数を考慮した回帰モデルにより劣化予測を試みる、という一連の流れを示した。今後は、確率密度関数の設定方法や回帰モデル式等、幾つかの仮定を見直したうえで、予測の妥当性の検証や劣化の不確実性を考慮したモデルの構築を行う予定である。

参考文献

- 1) 大竹雄, 流石堯, 小林孝一, 本城勇介: 橋梁点検データベースの統計解析に基づく劣化機構を考慮した鋼橋 RC 床版の健全度評価, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 68, No. 3, pp. 683-695, 2012.
- 2) 岐阜県県土整備部道路維持課: 岐阜県橋梁点検マニュアル, 2003.
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書 [維持管理編] 2007 年制定, 2008.
- 4) 樺島祥介, 上田修功, 計算統計 I (第 III 部 平均場近似・EM 法・変分ベイズ法), 岩波書店, 2003.