

劣化メカニズムを考慮した主成分分析による鋼橋 RC 床版の健全度評価

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、橋梁の定期点検や補修を行い、合理的な維持管理を図ろうとしている。点検データが蓄積されつつある現在、その統計的分析からマネジメントシステムの高度化を行う最適な時期であると考えられる。

これまで橋梁各部材の健全度は、専門家の定性的判断で5, 4, 3, 2, 1といった離散量で表現されることが多かった。この評価手法の課題として、離散量で評価することによる情報量の低下や様々な要因を持つ橋梁の混在等が挙げられる。

筆者らは、岐阜県が管理する約 1600 橋のうち、岐阜市内 54 橋を対象に基礎的研究¹⁾を行った。上記の課題に着目し、点検データの縮約や健全度指標の連続データ化、橋梁の階層化を行った評価手法を提案している。本研究は先の研究を展開し、岐阜県全域 360 橋の鋼橋 RC 床版を対象に解析を行い、同様の手法で健全度を評価し、さらに劣化メカニズムの違いに着目し階層化を図るものである。

2. 研究の方法

2.1 使用データ

岐阜県が実施している定期点検結果²⁾をデータベース化し統計分析を行う。ここで、そのデータを橋梁点検データと呼称する。各部材について詳細な点検項目(表-1)が設定され、a(健全)~e(危険)の5段階で評価している。また、本データベースには損傷写真が添付されており、具体的な損傷状態を把握できる。

表-1 鋼橋 RC 床版の点検項目

記号	点検項目
A	鉄筋露出、さび(張出し部)
B	鉄筋露出、さび(中間部)
C	鉄筋の断面欠損
D	コンクリートの剥離、欠損(張出し部)
E	コンクリートの剥離、欠損(中間部)
F	ひびわれ(漏水、遊離石灰、さび汁を伴わない)
G	漏水、遊離石灰を伴うひびわれ
H	さび汁を伴うひびわれ
I	二方向のひびわれ
J	施工不良による豆板等

2.2 解析の手順

(1) 主成分分析と新しい健全度指標の提案

多くの変数により記述されたデータを縮約し、少数個の指標(合成変数)で表現し、多くの情報を把握する手法である。主成分分析により得られた合成変数を主成分といい、最も多くの情報を持っている主成分を第1主成分(以下 Comp.1 と呼称)という。情報とは分散を意味し、情報量の多さと分散の大きさが対応している。ここでは、橋梁点検データをもとに、鋼橋 RC 床版の健全性を表す指標を抽出する。そして、5~1の連続データで表現される簡易な健全度指標を定義する。

(2) 劣化メカニズムとグレードの判定

主成分分析の結果から、損傷程度や劣化メカニズムについて特徴的な橋梁を判別できる。これらのサンプルを抽出し、点検データと損傷写真をもとに、劣化機構と外観上のグレード³⁾を判定し、損傷程度や劣化メカニズムの違いによる橋梁の階層化を行う。

3. 解析結果と考察

3.1 主成分分析結果

点検データをもとに行った主成分分析は図-1のように視覚化できる。これはパイプロットと呼ばれ、Comp.1- Comp.2 平面上にサンプルをプロットした図である。図中のベクトルは各点検項目のこの平面への投影を示し、Comp.1, Comp.2 はどのような項目が寄与しているかを把握できる。また、各ベクトルの長さは、Comp.1 と Comp.2 に対する寄与程度を表す。図-1 から、Comp.1 はすべての点検項目が寄与していること、Comp.2 はコンクリート剥離や鉄筋露出に関する項目(A, B, D, E)とひびわれに関する項目(F, G, I)が逆向きに寄与していることが読み取れる。以上より、Comp.1 は全体的な劣化を表す指標、Comp.2 は劣化メカニズムを差別化するような指標であると考えた。

3.2 新しい健全度指標

図-1 の Comp.1 と Comp.2 について各点検項目の寄与程度がすべて等しいとして、新しい健全度指標 BHI.1 と BHI.2 を次式で定義する。

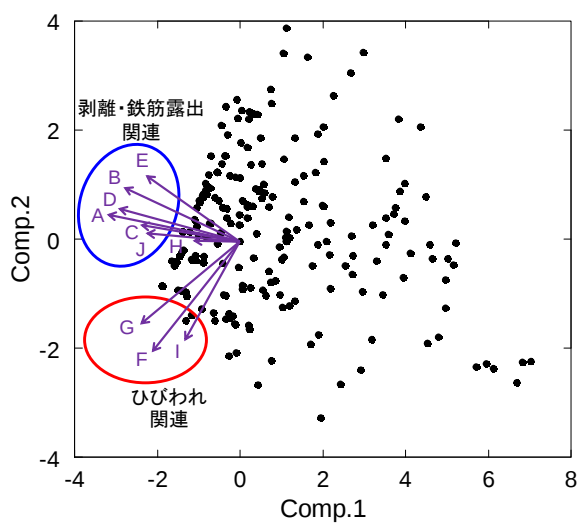


図-1 Comp.1, Comp.2 と各点検項目の関係

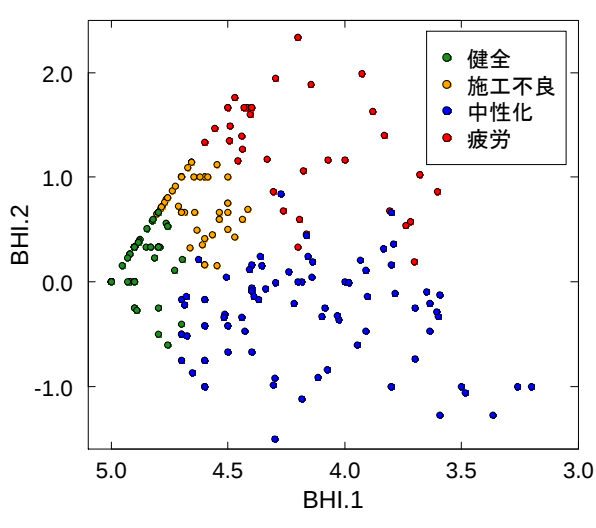


図-2 劣化メカニズムによる分類結果

$$BHI.1 = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} x_i \tag{1}$$

$$BHI.2 = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 x_j - \frac{1}{3} \sum_{k=1}^3 x_k \tag{2}$$

ここに、

x_i : 全 10 項目のスコア

x_j : 剥離・鉄筋露出に関連する A, B, D, E のスコア

x_k : ひびわれに関連する F, G, I のスコア

3.3 健全度・劣化メカニズムと対策工の関連

主成分分析結果より、Comp.1- Comp.2 平面上で、損傷程度や劣化メカニズムの違いから橋梁群の階層化が可能ではないかと考えた。そこで、文献 3)にもとづき、サンプルの劣化メカニズムとグレードを推定した。図-2 は新たに定義した BHI.1- BHI.2 平面上で、すべての橋梁が劣化メカニズムの違いにより 4 種類に分類された結果を示している。ここで、図-1 との対応を考える。

Comp.2 について、正側のベクトル (A, B, D, E) は剥離や鉄筋露出に関する項目、負側のベクトル (F, G, I) はひびわれに関する項目である。それぞれのベクトルの反対側に、これらの項目のスコアが低いサンプルが分布する。また、比較的健全なサンプルは図中の左側に分布している。中性化は CO₂ の侵入による鋼材腐食で剥離や鉄筋露出が顕在化する現象であり、一方、疲労は繰返し荷重によるひびわれが進展する現象である。2 つのベクトル群とそれぞれの現象が対応していることから、特徴を適切に分離して表現できているといえる。また、図-3 は BHI.1 と経過年数の関係を表しており、各橋梁群の劣化傾向に違いが見られることが分かる。

文献 3)には、劣化機構と外観上のグレード別に実施すべき対策工が設定されており、中性化と疲労では対策工や最適な対策時期が大きく異なる。このように、

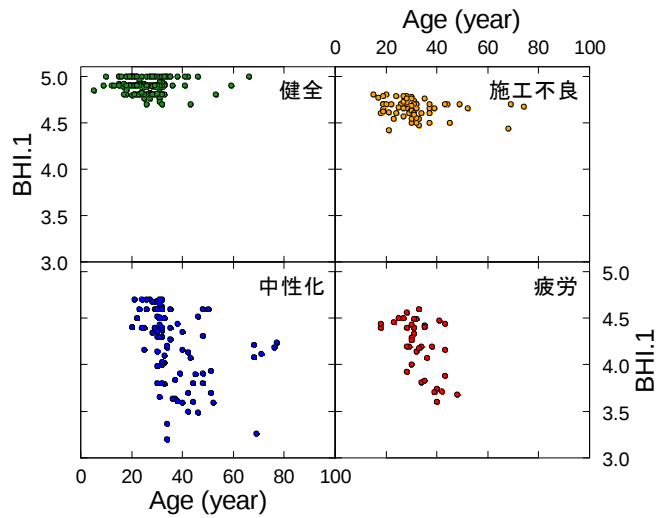


図-3 BHI.1 と経過年数の関係

劣化メカニズムを考慮した部材の健全度評価は、対策工との関連付けを適切に行うことができ、合理的な維持管理に有用であるといえる。

4. 今後の展望

本研究では岐阜県全域の橋梁を対象に、鋼橋 RC 床版の健全度評価を行い、本手法が維持管理上有効な手法であることを示した。今後は、劣化メカニズムの異なる橋梁毎に劣化予測モデルの開発を行う予定である。

参考文献

- 1) 大竹雄, 流石堯, 本城勇介他: 統計的手法を用いた橋梁点検データベースに基づく橋梁健全度評価に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A2 (応用力学), Vol. 67, No. 2, pp. 813- 824, 2011.
- 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, 2010.
- 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.