

劣化速度に着目した構造物の劣化予測

(株)BMC 正会員 貝戸清之
(株)BMC 正会員 阿部允

1. はじめに

構造物に対して戦略的な維持管理を実現するためには、実測データに基づく劣化予測は不可欠である。しかし、既存手法は実際の劣化現象よりも緩やかな予測結果を与えるという報告がある¹⁾。これは、構造物が古くなるほど、補修・補強・取替えの履歴の把握が難しく、相対経年を算出できなくなることに起因する。この点を改善すべく、本研究では、劣化速度に着目した予測手法を構築し、実橋梁の目視検査結果を用いた検証を行った。なお、以下では、構造物の健全性は「健全度」として定量的に評価されているものとする。

2. 劣化速度に着目した劣化予測手法

はじめに、任意時点 t_n における健全度を r_n 、次回の検査時点 t_{n+1} における健全度を r_{n+1} とする。ここで、劣化速度 v は、時間 $t_n \sim t_{n+1}$ において線形であると仮定すると、次式のように、異なる時点における健全度の変化率として表すことができる。

$$v = \frac{r_{n+1} - r_n}{t_{n+1} - t_n} \quad (1)$$

このとき、構造物の劣化が進むということは、 $r_{n+1} < r_n$ であるので、上式は $v < 0$ となる。

つぎに、健全度について階級分けを行い、任意の健全度 r_n とそのときの劣化速度 v を、 r_n が属する階級に分類する。階級数を N_c 、階級 i に属する劣化速度の数を M_i 、階級の幅を ℓ とすると、階級 i の平均劣化速度 \bar{v}_i によって次階級 $i+1$ に到達するまでの平均劣化時間 T_i を算出することができる。

$$T_i = \ell / \bar{v}_i = \ell / \left(\sum_{j=1}^{M_i} v_j / M_i \right) \quad (i=1, 2, \dots, N_c) \quad (2)$$

全ての階級で上式の平均劣化時間を算出し、それらの累和を取る。この累和が劣化時間 $\sum T_i$ を与え、履歴が劣化曲線となる。概念を図-1に示す。本手法の利点は、健全度の経年変化が得られていれば、平均劣化曲線を算出できることにある。つまり、補修等の履歴やその後の相対経年等が不明であっても予測に支障をきたさない。

3. 8年間の目視検査結果を用いた橋梁の劣化予測

3-1. 既存手法との比較：目視検査結果に基づく橋梁の劣化予測を提案

手法により行う。解析には、NY市が1992～2000年に管理した828橋に対する目視検査結果を用いた。NY市では、橋梁部材の健全度を1～7（1：崩壊，7：新設）で評価し、さらに表-1に示す13部材の重み平均により橋梁全体の健全度を算出している。

健全度を0.1刻みで1～7まで計71の階級に分類し、上記手順に従って劣化予測を行う。ただし、 $v > 0$ は補修・補強・取替えのいずれかが実施されたものであるとして、平均劣化速度を算出する際に除外した。ところが、補修等が実施されても、部材の重みが小さい場合には $v > 0$ とならないことがあり、そのようなデータが含まれていることに注意する必要がある。

予測結果を図-2に示す。図中の実線は平均、破線は最悪の劣化曲線である。橋梁の寿命は平均で約80年であるとの結果を得た。一方、図-3は1994年の目視検査結果を用いた既存手法による劣化曲線²⁾である。同

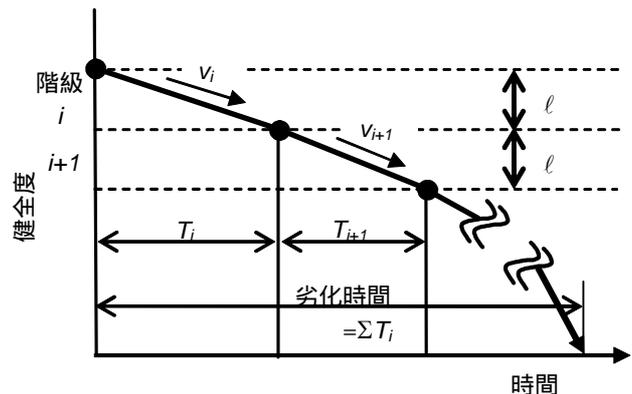


図-1 劣化速度に基づく予測手法の概念

表-1 橋梁部材の点検項目と重み

番号 i	部材名	重み w_i
1	支承	6
2	背面壁	5
3	橋台	8
4	擁壁	5
5	橋梁台座	6
6	主部材	10
7	2次部材	5
8	高欄	1
9	歩道	2
10	床版	8
11	舗装	4
12	橋脚	8
13	添接	4
		72

キーワード：劣化予測，劣化速度，維持管理，目視検査，橋梁

連絡先：〒261-7125 千葉県美浜区中瀬 2-6 WBG マリブウエスト 25 階 株式会社 BMC，e-mail: kaito@hashimori.jp

図の実線と比較すると、20年程度寿命が長くなっている。理由としては、図-3では1994年度のデータのみを用いているという根本的な違いがあるものの、図-2では $v_n=0$ を含んでいることがあげられる。 $v_n=0$ を除外したケースを同図中に示すと、図-3とほぼ同じ結果が得られた（点線）。

3-2. 補修・補強・取替え ($v>0$) の影響：前節では、補強等の影響と考えられる正の劣化速度 ($v>0$) を平均値の算出時に除外した。しかし、補修等が必要な橋梁は、通常の劣化と比べて進行が速いと考えるのが自然であるので、本節ではその影響を考慮した劣化曲線の算出を試みる。

表-1の13部材を重みの大きさに応じて3群に分ける。すなわち、重み8~10を第一群、4~6を第二群、それ以下を第三群とする。第一群の平均の重みは8.5、第二群は5、第三群は1.5となる。次に、部材はその健全度が2となった時点で補修等が行われ、取替えの場合には7まで増加するものと仮定する。このとき、第一群で取替えが実施されると、橋梁全体の健全度は $8.5 \times (7-2)/72=0.59$ 増加し、第二群では0.35増加する。0.35以下は、第三群の取替え、あるいは第一、第二群の補修・補強であると考える。図-4には、 $v>0$ となるケースを抽出して、健全度の増加量を示した。

一方で、通常、補修等が行われるということは、次回検査までに健全度が少なくとも1減少する（例えば、現段階で3のものが使用限界である2に落ちる）という判断がなされたと便宜的に考える。先と同様の計算により第一、第二、第三群の健全度がそれぞれ、1落ちると、橋梁全体の健全度は0.12、0.069、0.021落ちる。このとき、図-4の分布に対して0.59を境界として、それを超えて健全度が増加しているものには、その階級の平均劣化速度 \bar{v} に、取替えが行われなかった場合に低下していたであろう健全度分 $r_{r1}=0.12$ から算出される劣化速度の平均値を加えて、新たな平均劣化速度 v^* とする。同様に、0.35~0.59の範囲では $r_{r2}=0.069$ を、0.35以下では $r_{r3}=0.021$ を用いる。このとき、階級 i の平均劣化速度 v_i^* は、次式で与えられる。

$$v_i^* = \bar{v}_i + \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^{N_{ij}} \left(\frac{-r_{rjk}}{(t_{n+1} - t_n)_{jk}} \right) / N_{ij} \quad (3)$$

N_{ij} は階級 i に属する第一、第二、第三群の劣化速度の数である。

平均劣化曲線を図-5の実線で示す。補修等を考慮しない場合と比較すると、すでに健全度6付近から劣化の進行は速くなっており、最終的に使用限界に達するまでの劣化時間は約10年短くなる。しかし、この解析の妥当性に関しては、実証が不可能であるので、傾向を知る程度の認識であることに留意されたい。

4. まとめ：劣化速度に着目した劣化予測手法を提案した。NY

市の目視検査結果への適用において、既往の結果との整合性から本手法の妥当性を示した。また、補修等の影響を考慮した平均劣化曲線も推定し、考慮しない場合よりも急な予測結果を与え得ることを示唆した。

謝辞：本研究を遂行するにあたり、NY市のヤネフ博士から目視検査結果を提供して頂いただけでなく、幾度となく有益なコメントを頂きました。ここに記して感謝致します。

【参考文献】1)Rahim, I.J. et. al.: Bridge Element Deterioration Rates, *Transportation Research Record 1490*, pp.9-18, 1995, 2)Yanev, B: Life-Cycle Performance of Bridge Components in New York City, *Recent Advances in Bridge Engineering*, pp. 385-392, 1997.

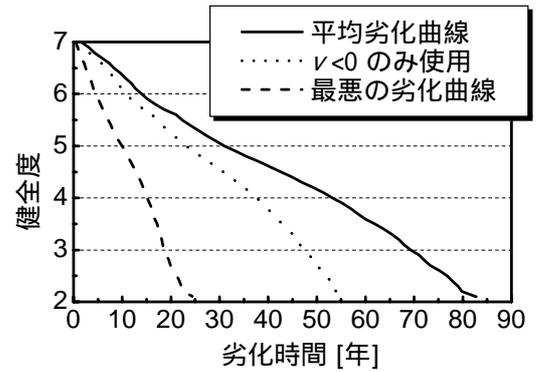


図-2 劣化速度に着目した劣化予測

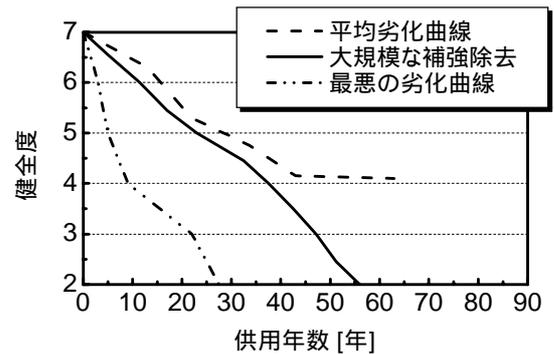


図-3 既存手法による劣化予測の一例²⁾

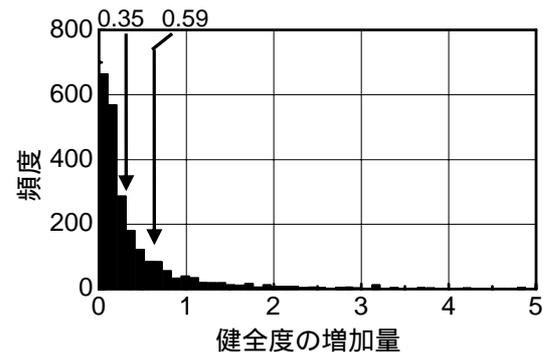


図-4 補修・補強・取替えによる健全度増加

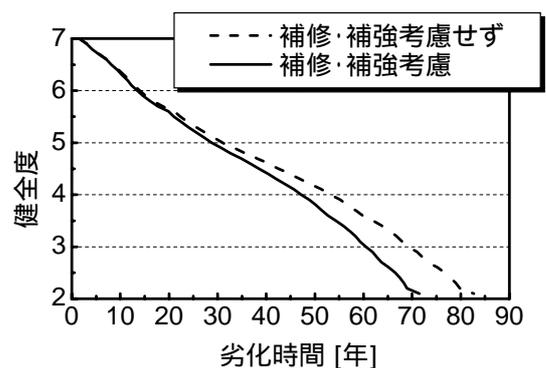


図-5 補修・補強・取替えを考慮した劣化予測