

補修後の橋梁各部材の劣化曲線の推移について

On devolution of deterioration curves of bridge members after repair works

北海学園大学工学部社会環境工学科 正員 杉本博之 (Hiroyuki Sugimoto)
北海学園大学大学院工学研究科 学生員 澁谷直隆 (Naotaka Shibuya)
北海学園大学大学院工学研究科 ○学生員 山本稔晴 (Toshiharu Yamamoto)
北海学園大学工学部社会環境工学科 平井理仁 (Masahito Hirai)

1. まえがき

ライフサイクルコスト（以下、LCC と略する）の計算において、想定期間を 50 年以上にとる場合は、各部材において最低 1 回の補修は入る。補修直後は健全な状態に戻るが、当然また劣化のプロセスが進行する。補修後の劣化曲線については、従来は、補修前と同じ傾きを持つ曲線が使われていたが、実務者の間では、補修後は劣化が早いということは言われていた。これは、今後補修工法の選択などにおいて、重要な問題点と思われる。実際に補修後の健全度の推移を検証するためには、補修に関する保存データが不完全である場合が多く、難しい問題であったが、ある地方自治体の建設部において、過去の補修データが保存されていたので、それらと最近の点検結果とを照合して、補修後の橋梁各部材の劣化曲線の推移について検討を加えた。

2. 劣化曲線と補修の関係¹⁾

ある部材の劣化曲線と補修の関係を図-1 に示した。点検は 1（悪い）～5（良い）の 5 段階で判定されるとする。最初は d_0 の劣化曲線を用いて経年的な劣化の程度が算出され、例えばこの部材の健全度（劣化度と同じ意味で用いている）が 2 になった時補修が行われるとする。図では、点 A が該当する。従来は、この後健全度は 5 に戻り、劣化曲線は当初の曲線 d_0 と同じ曲線 d_0' を用いて劣化の程度を算出していた。ここで問題は 2 つある。1 つは健全度が 5 まで戻るか（図では B 点）ということと、その後当初の曲線と同じ傾きで劣化が進行するかという疑問である。前者に関しては、補修の内容によっては 5 以上の評価もありうるという議論もあるが、初期の「5」そのものが厳密に性能を評価して定められた評価値ではないので、補修後も 5 に戻るとして問題はないと思われる。補修後の性能は上がるという場合も、その性能向上は補修後の劣化曲線の勾配の中に入れて考えることができる。良い補修であれば、劣化の進行は遅いであろうし、悪い補修であれば逆に劣化は早く進行する。従って、補修後の健全度が「5」に戻ることは受け入れられると思われる。

結局、問題は図-1 に示す曲線 d_1 あるいは曲線 d_2 が実際はどのようになっているかということになる。理論的に求めるのは難しいと思われるので、ここでは、実際のデータから補修後の劣化について考察を加える。

また、補修の効果を詳しく検証するためには、点検項目とそれに関係のある損傷内容を比較検討するなど、より踏み込んだ検討が必要であることも最後で触れる。

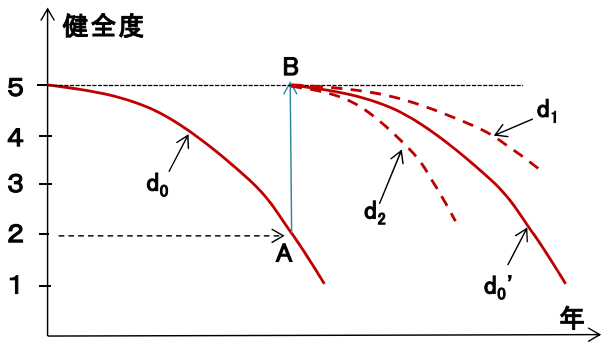


図-1 補修と劣化曲線

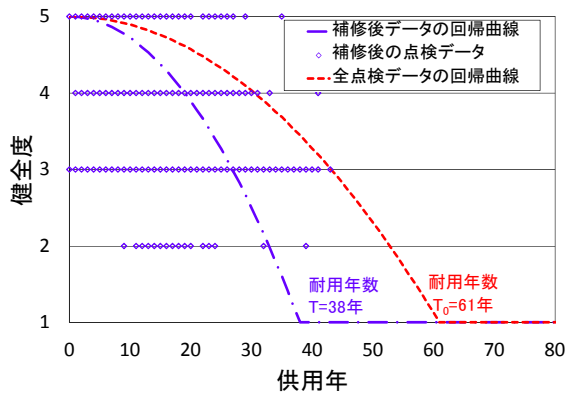
表-1 各部材のデータ数

	部材	データ数	
		定期点検データ	補修後データ
①	鋼橋主桁	8855	1794
②	鋼橋副部材	8299	20
③	コンクリート橋主桁	7612	59
④	鋼橋床版	8710	129
⑤	コンクリート橋床版	4549	65
⑥	鋼橋躯体	8854	108
⑦	コンクリート橋躯体	8702	159
⑧	鋼橋基礎	7993	17
⑨	コンクリート橋基礎	7563	25
⑩	鋼橋伸縮装置	7637	179
⑪	コンクリート橋伸縮装置	6613	97
⑫	鋼橋支承	8759	125
⑬	コンクリート橋支承	7146	10
⑭	鋼橋橋面工	8743	180
⑮	コンクリート橋橋面工	8621	179

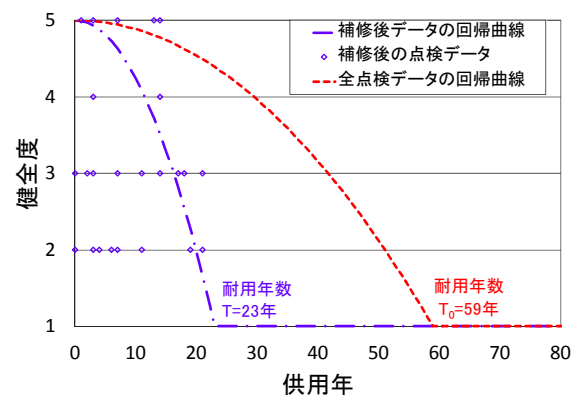
3. 補修後点検結果を用いた劣化曲線

ここで補修後の状態を検討するのは、①鋼橋主桁、②鋼橋副部材、③コンクリート橋主桁、④鋼橋床版、⑤コンクリート橋床版、⑥鋼橋躯体、⑦コンクリート橋躯体、⑧鋼橋基礎、⑨コンクリート橋基礎、⑩鋼橋伸縮装置、⑪コンクリート橋伸縮装置、⑫鋼橋支承、⑬コンクリート橋支承、⑭鋼橋橋面工、および⑮コンクリート橋橋面工である。それぞれ、定期点検結果および補修後の点検結果の最悪値をプロットし最小二乗法で曲線を求めた結果である。それぞれのデータ数は表-1 のようになる。データ数は 1 巡目点検及び 2 巡目点検のデータが確認できる全数であり、橋梁数ではなく、径間数でカウントしている。鋼橋主桁の補修後のデータ数が多いのは、塗装工事のデータ数が多いためである。

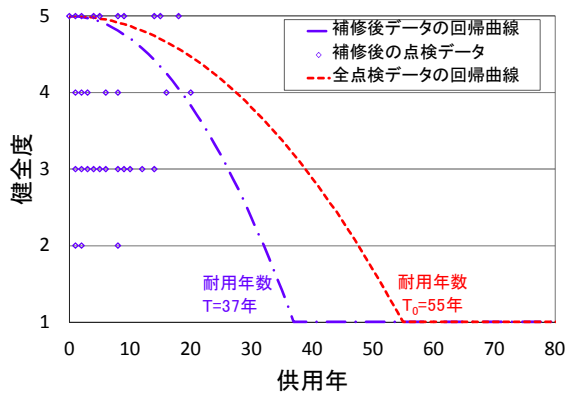
以下、②を除く 14 部材について補修後の劣化曲線を全点検データより得られた劣化曲線と比較する。



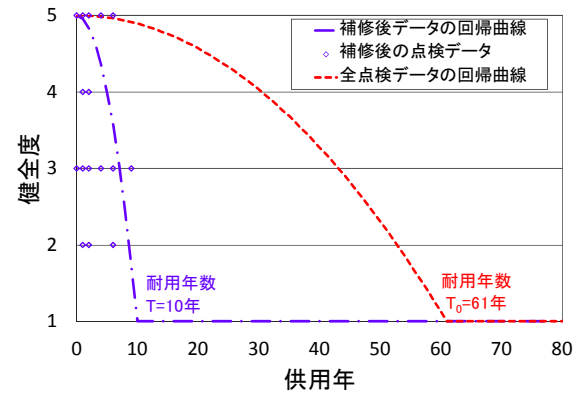
図ー 2 鋼橋主桁の補修後の劣化曲線



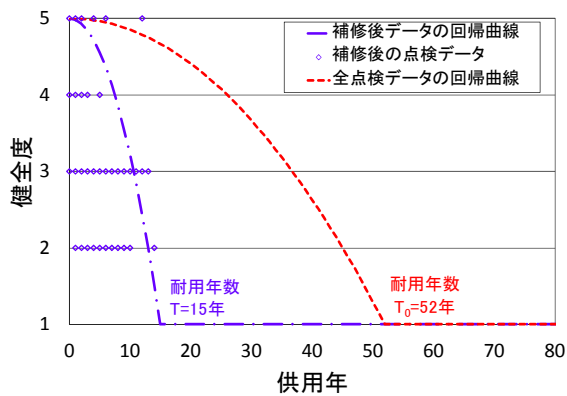
図ー 3 コンクリート橋主桁の補修後の劣化曲線



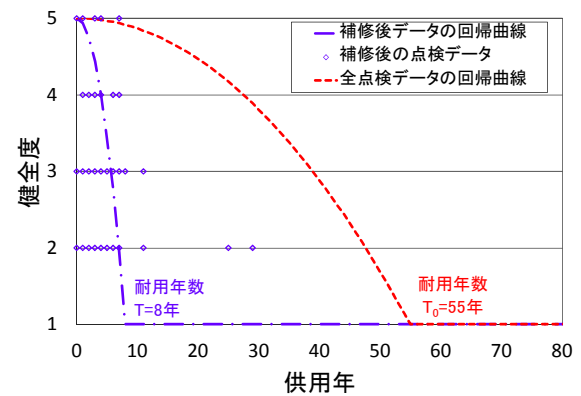
図ー 4 鋼橋床版の補修後の劣化曲線



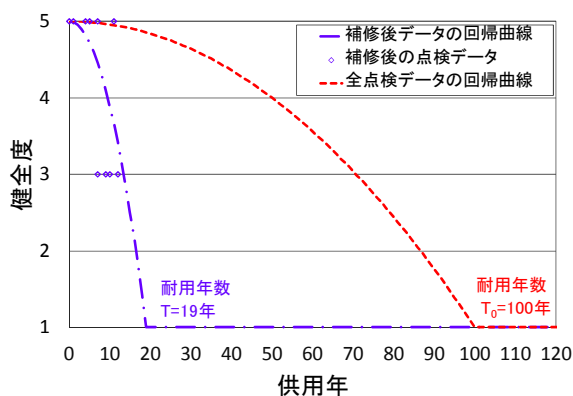
図ー 5 コンクリート橋床版の補修後の劣化曲線



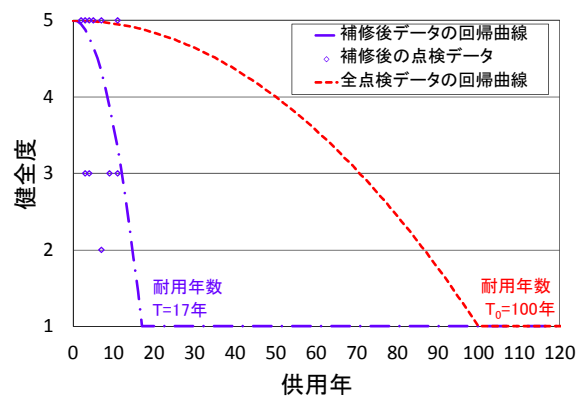
図ー 6 鋼橋躯体の補修後の劣化曲線



図ー 7 コンクリート橋躯体の補修後の劣化曲線



図ー 8 鋼橋基礎の補修後の劣化曲線



図ー 9 コンクリート橋基礎の補修後の劣化曲線

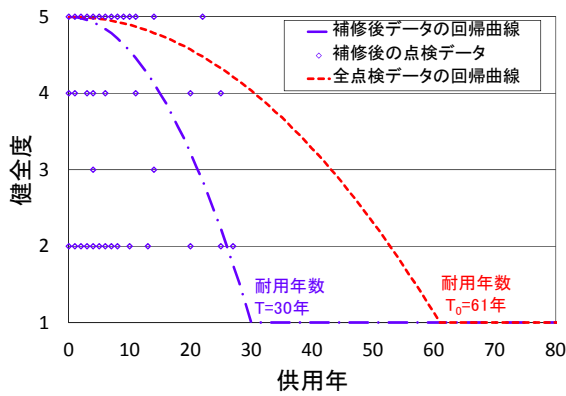


図-10 鋼橋伸縮装置の補修後の劣化曲線

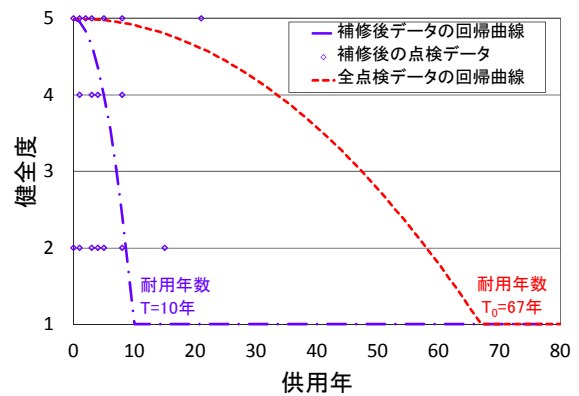


図-11 コンクリート橋伸縮装置の補修後の劣化曲線

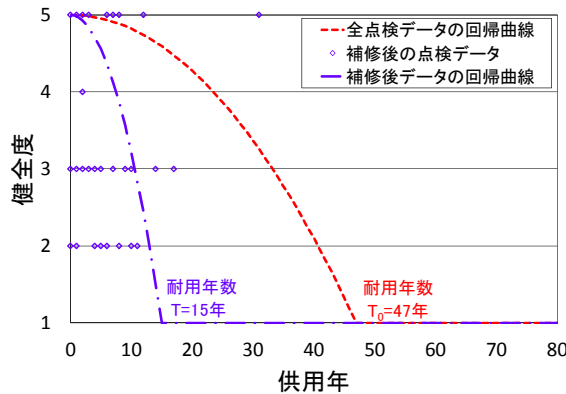


図-12 鋼橋支承の補修後の劣化曲線

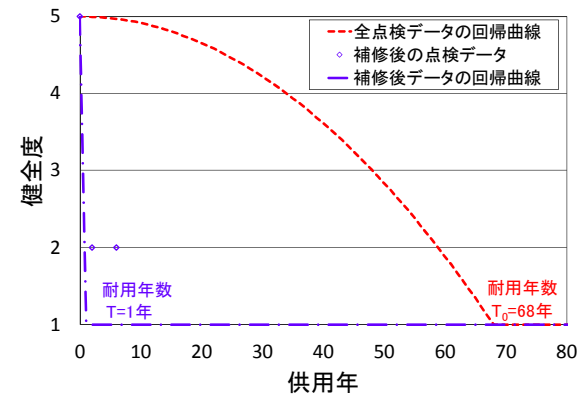


図-13 コンクリート橋支承の補修後の劣化曲線

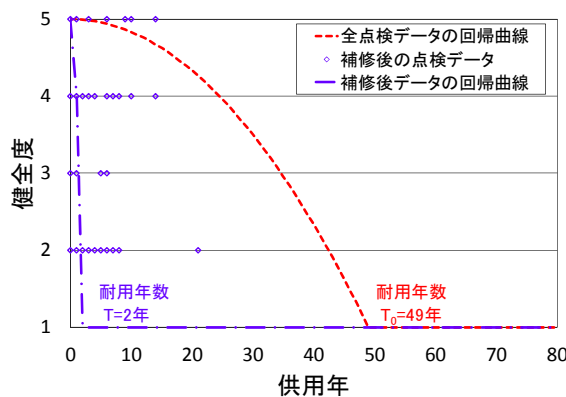


図-14 鋼橋橋面工の補修後の劣化曲線

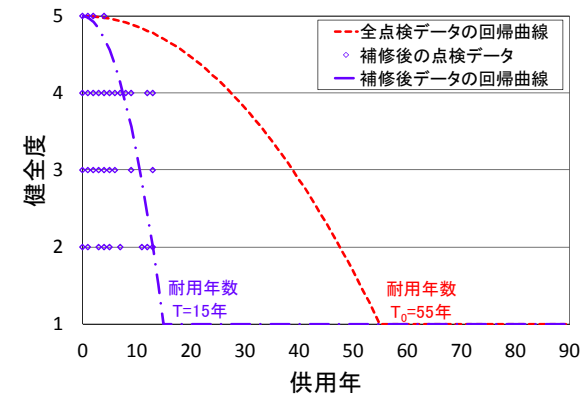


図-15 コンクリート橋橋面工の補修後の劣化曲線

図-2～15 に示すように、程度の差はあるがすべての部材で、補修後の劣化曲線は、全点検データから作成した劣化曲線よりも急勾配で健全度を失っている。

しかしこれは必ずしも補修後の劣化曲線を正確に表しているとは限らない。各部材は、複数の点検項目で評価され、部材の評価はその中の最悪値が採用される。図中の赤線で示される全点検データから得られる劣化曲線の場合は、部材の劣化進行を把握するためには、最悪値を用いる手法は受け入れられるが、補修後の部材の評価については、最悪値を用いる場合は低めの評価をすることになる。例えば、鋼橋主桁において、補修工事は、ボルトの緩みを解消するための工事だったにもかかわらず、点検の最悪値は塗装劣化の評価だった場合、補修と後の点検結果は無関係ということになる。ここに、補修

後の劣化曲線を扱う難しさがある。

この点を、補修後極端に低下している図-14 の鋼橋橋面工と図-13 のコンクリート橋支承で検討する。

橋面工の評価は、舗装、防護柵、地覆、および縁石の4部材要素を評価する。例えば、鋼橋の舗装と防護柵それぞれの補修後の劣化曲線を書くと、図-16、図-17のようになる。

同様に、支承の評価は、本体、アンカーボルト、および沓座モルタルの3部材要素を評価する。例えばコンクリート橋の本体と沓座モルタルの補修後の劣化曲線を書くと、図-18、図-19のようになる。

いずれも、すべての点検項目の最悪値をとった図-14、あるいは図-15 に示すような急勾配の劣化曲線とは異なる傾向を示している。

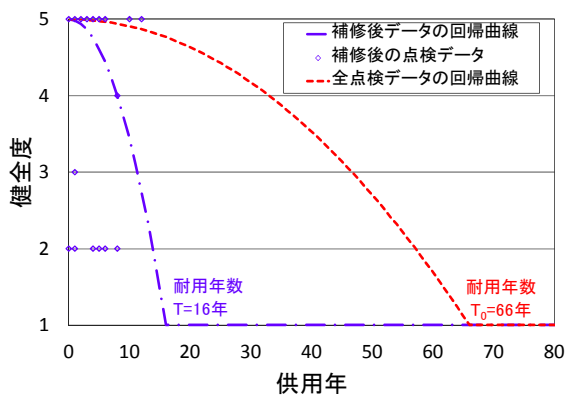


図-16 鋼橋舗装の補修後の劣化曲線

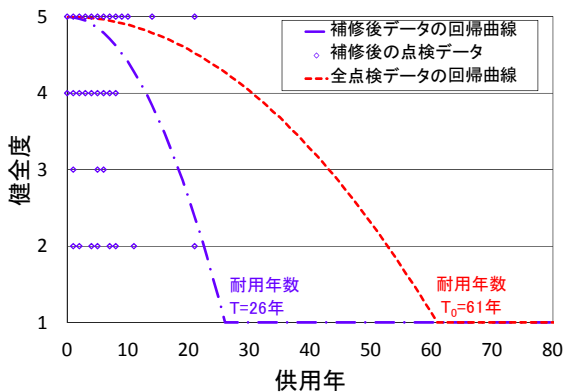


図-17 鋼橋防護柵の補修後の劣化曲線

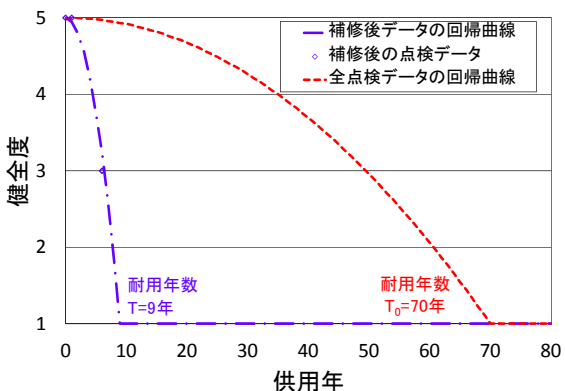


図-18 コンクリート橋支承本体の補修後の劣化曲線

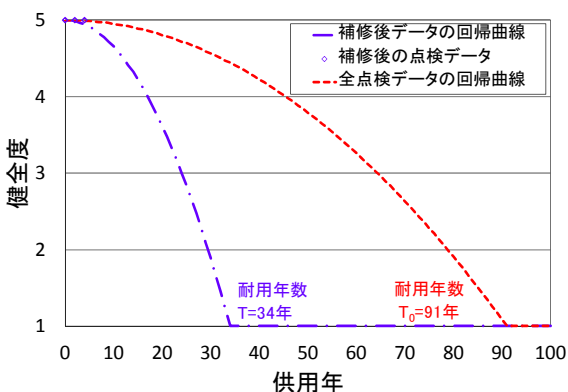


図-19 コンクリート橋脊座モルタルの補修後の劣化曲線

図-16～19 において，全点検データの回帰曲線とは，舗装なら舗装，防護柵なら防護柵のみの点検データより得られた回帰曲線を意味している。

なお，劣化曲線式は，供用年に関する2次式を用いている²⁾。

$$r(t) = 5 - 4 \left(\frac{t}{T} \right)^2 \quad (0 \leq t \leq T) \quad (1a)$$

$$r(t) = 1 \quad (t > T) \quad (1b)$$

ここで， $r(t)$ は供用年数 t における健全度， T は耐用年数を表す。健全度は部材の健全の程度を表す指標であり，5 が最も健全な状態，1 が最も劣化した状態を表す。

以上で得られた劣化曲線に対して考察を加える。

全点検データを用いて得られる劣化曲線は，データ数が多いこともあり，それぞれの部材の一般的な傾向を示していると思われる。

補修後の劣化曲線は，データ数が少ない中で最悪値をとっているため，最悪値に引っ張られて急勾配の劣化曲線になっている場合が多いと思われる。ある意味で，各部材の補修後の下限に相当する劣化曲線とみることができる。

複数の部材要素の最悪値をとっている場合（支承および橋面工），各部材要素ごとの劣化曲線を示したが，どちらの場合も，単体での評価より緩い勾配の劣化曲線が得られた。これらはより実際に近い傾向を示すと思われるが，なお，一般的な傾向を示すと思われる全点検データより得られる劣化曲線よりも勾配は急になっている。

これらの原因は，補修工事そのものの難しさ，および補修工事の担い手による性能維持の課題があると思われる。また，真の補修の効果は，補修工事とより直接的に関係する損傷を見るべき³⁾で，煩雑な作業が要求されるが，今後の課題と思われる。

4. あとがき

実際に得られた補修データと点検結果より，補修後の部材の劣化曲線の傾向について考察を加えた。総ての部材において，補修後の劣化曲線はかなり性能が低下する傾向を示した。しかし，より詳細な検討には，補修工事と直接的に対応する点検項目との関係が重要であることについても言及した。これらはまた LCC の計算，あるいは補修工事の選択などにも反映されるべきと思われる。

参考文献

- 1) 山本稔晴，齋藤善之，澁谷直隆，杉本博之：補修後の橋梁部材の劣化曲線に関する一考察，土木学会第66回年次学術講演会（平成23年度），I-609，pp.1217-1218，2011。
- 2) 木内順司，齋藤善之，杉本博之：点検結果のばらつきを考慮した橋梁の最適維持管理計画に関する研究，構造工学論文集 Vol.57A，pp.155-168，2011。
- 3) 杉本博之，澁谷直隆，山本稔晴：橋梁床版の補修後の劣化曲線傾向に関する一考察，第7回床版シンポジウム，2012。（投稿中）