

橋梁床版の補修後の劣化傾向に関する一考察（ある自治体の場合）

On deterioration tendency of bridge slabs after repair works(in the case of a local autonomy)

杉本博之*, 澁谷直隆**, 山本稔晴**

Hiroyuki Sugimoto, Naotaka Shibuya, Toshiharu Yamamoto

*工博, 北海学園大学教授, 工学部社会環境工学科(〒064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11 丁目)

** 北海学園大学修士 1 年, 工学研究科建設工学専攻(〒064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11 丁目)

Generally the life cycle cost is calculated on the assumption that the same deterioration curves of members of bridges are repeated in the assigned years. If the deterioration curves before and after repair works are not same, then the deterioration curves of bridge members after repair works must be introduced. It requires further data accumulation and several years more than ten years. In this paper, focusing on the bridge slabs the deterioration curves before and after repair works are studied. Two kinds of repair works are considered here. One is replacing all slabs and another is partial repair. From the data provided by a local autonomy, it is obtained that after former works the deterioration curves are not changed, but after latter works the deterioration curves are changed to steeply descent curves.

Key Words: bridge slab, deterioration curve, replacing all slabs, partial repair

キーワード: 橋梁床版, 劣化曲線, 全長打替え, 部分補修

1. まえがき

橋梁維持補修の重要性への社会的合意を得るためには、橋梁が維持している道路ネットワークが災害時にいかに機能するかという事例の認識と、それを維持していくためのコストが、いかに合理的であるかという説明が必要である。コストの合理性の説明の1つにLCC（ライフサイクルコスト）の計算がある。従来取られている橋梁更新の対策は、ある程度悪くなれば全橋を取り替える、あるいは事後保全を基本とする。一方、予防保全を基本とする対策は、50年あるいは100年の期間で考えればトータルのコストはかなり軽減できるという考え方である。これは、納税者への説得材料としては、かなり効果的と

考えられ、LCCに関しては、ネガティブな評価はあまり聞こえてこない。LCCは社会的にある程度認知されてきていると考えられる。

LCCの計算には、橋梁を構成する各部材の劣化曲線と、部材の劣化の程度に対応する補修費の計算が必要となる。補修費は、将来の技術の動向により不確定要因は含まれるが、基本的には現在および過去の補修費のデータを統計的に処理した公式が用いられる。

LCCを計算する期間中には、部材ごとに数度の補修が行われることが想定される。従来は、補修後も、補修前と同様な傾向を示す劣化曲線が用いられていたが、これは点検データの蓄積が少ないこともあり、やむを得ない対応と考えられた。

本研究が対象としているある地方自治体の建設部（以下、建設部と略する）においては、地域に5000以上の橋梁を管理しているが、定期点検については1巡目点検が2000～2005年度、2巡目点検が2006～2010年度に行われた。また、必ずしも完全には記録されていないが補修の記録も残っている。その補修のデータと、2回の点検データより、補修後の橋梁部材の劣化進行の傾向を把握することができる。本研究においては、上部工（主桁、副部材）、床版、基礎、躯体、支承、伸縮装置、及び橋面工の7部材において、補修後の劣化進行の傾向を検討している¹⁾が、本論文では、コンクリート床版について説明する。床版中、コンクリート床版の占める割合は98%である。

なお、参照している資料は、橋梁情報システムの中のデータであるが、詳細は3. で説明する。

2. 劣化曲線と補修の関係

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 d_0 と同じ 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（図ではB点）かということと、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。また、補修後の性能自身も、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曲線は早く進行する。従って、問題は図-1に示す d_1 あるいは d_2 が実際はどのようなになっているかということになる。これらは、理論的に求めるのは難しいと思われるので、本研究では、床版に関して実際のデータから補修後の劣化について考察を加えた。なお、図-1の縦軸の「健全度」は、「劣化度」と同じ意味で用いている。

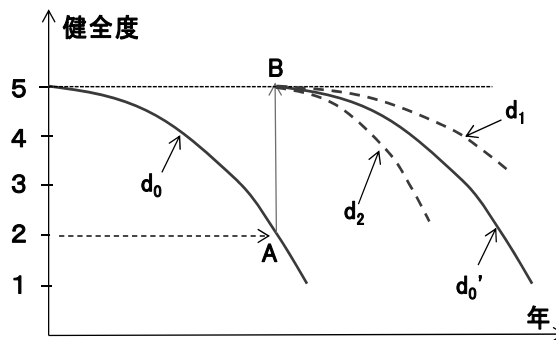


図-1 補修と劣化曲線

3. 補修後部材の劣化進行に関するデータ類について

本研究で用いたデータは、1. まえがきにも書いたように建設部が管理する橋梁情報システムの中のデータを以下の手順で用いて補修後の状態を検討した。

最初に参照したデータは、「径間 or 躯体の補修データ」でこの中には1935年以降の補修履歴が保存されている。そこで補修が確認された橋梁のその後の点検履歴を「径間 or 躯体単位の履歴データ（点検履歴データ）」の中で追跡する。このデータの中には、2000年以降に点検された、各橋梁、各部材の点検項目の中の最悪値が径間ごとに保存されている。

これらの点検の値は、あくまでもいくつかの点検項目の中の最悪値であるので、例えば補修工事が「防水層の設置」であるのに、最悪値に該当する点検項目が「剥離・鉄筋露出」であれば、補修工事と損傷の直接の関係は薄いので、他の項目、例えば、「遊離石灰」、「ひび割れ」、「変色・劣化」、あるいは「漏水・滞水」などの項目の評価値と対応させる作業を行う。その時用いるのが、「点検調査原票」である。この中には、点検現場で点検員によって直接記入された、径間ごとの各点検項目の評価値が記載されており、これらを用いて補修工事と点検の整合を取ることができる。ただし、「径間 or 躯体単位の履歴データ（点検履歴データ）」に部材の健全度が記載されている場合でも、「点検調査原票」の中に対応する橋梁がない場合は、健全度と損傷の整合が取れないためデータからはずしている。その後さらに、「点検調査票」と「損傷写真台帳」に収められている写真データを参照して損傷の状

表-1 補修工法と点検項目の関係

補修工法 点検項目	全長 打替え	部分 打替え	断面修復	ひび割れ 補修	橋面防水
豆板・空洞	○	○	○	×	×
剥離・鉄筋露出	○	○	○	○	×
抜け落ち	○	○	○	○	×
遊離石灰	○	○	○	○	○
ひび割れ	○	○	○	○	○
変色・劣化	○	○	○	○	○
漏水・滞水	○	○	○	○	○
データ数	28	30	124	14	211
補修後の点検データ数	21	18	39	9	66

態を確認する。本研究で用いた補修工事と点検項目の関係、および工事数とその後の点検結果があるデータの数を表-1に示した。

4. 過去の補修実績

建設部における、過去の補修実績を説明する。

図-2は、1973年以降のすべての部材の補修及び補強の数を径間数(総計4790径間)で計数した結果と年度の関係を示す。1973年以前にも9径間の補修が行われているが、詳細が記録されていないので計数に入れなかった。橋梁1巡目点検は2005年に終了しているが、その後2007年から急速に補修件数が増加している。

本研究は、床版補修を対象とするが、補修内容を大きく3種類に分類して比較検討している。それらは、「床版部分補修」、「床版全長打替え」、および「その他」である。その他には、鋼床版(2例)、補強(32例)が含まれるが、後記の補修後の健全度の推移の検討には加えていない。

床版部分補修には、表-1に記載されているように、床版部分打替え、断面修復、床版ひび割れ補修、橋面防水が含まれる。

図-3は、1987年以降の床版部分補修の数を径間数(総計379径間)で計数した数と年度の関係を示す。1987年以前には床版補修の履歴が記載されていない。図-2と同様に2007年以降、急速に増加している。図中、青は

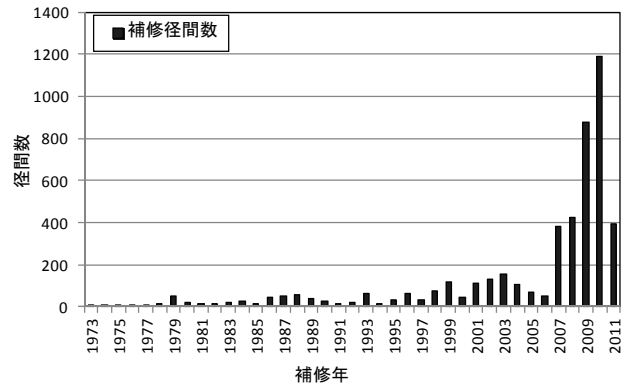


図-2 1973年以降の補修及び補強径間数(4790)と年度

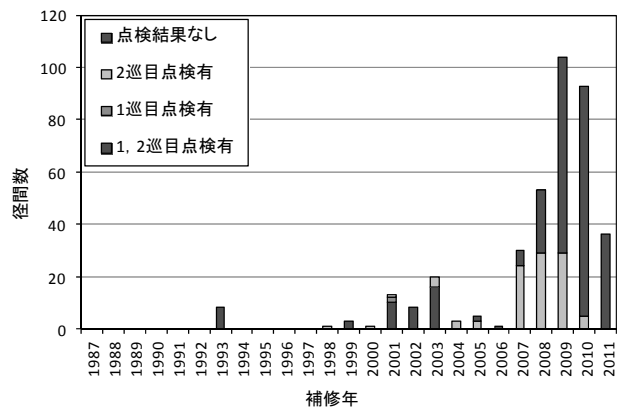


図-3 1987年以降の床版部分補修の径間数(379)と年度

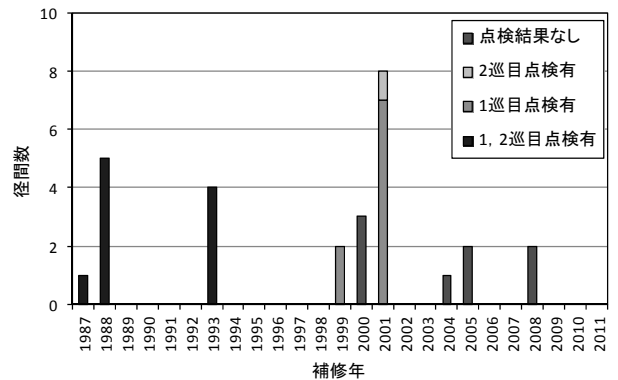


図-4 1987年以降の床版全長打替えの径間数(28)と年度

その後の1巡目及び2巡目点検の結果があった径間数であり、赤は、1巡目点検、緑は2巡目点検のみがあった径間数である。紫は、補修が新しいため、まだ点検が行われていない径間数である。

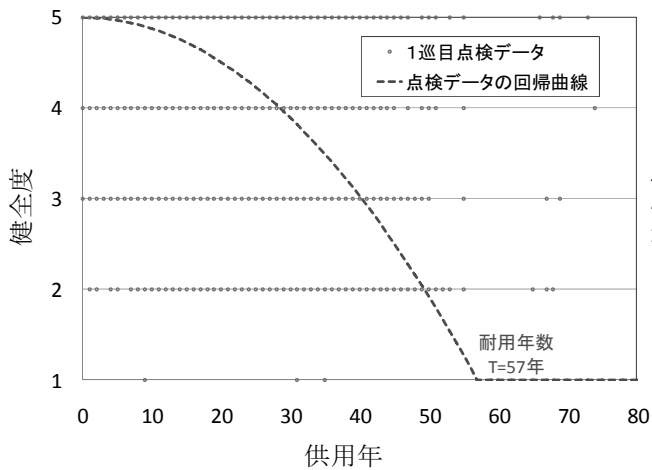


図-5 1巡目劣化曲線を用いた劣化曲線
(データ数 6468)

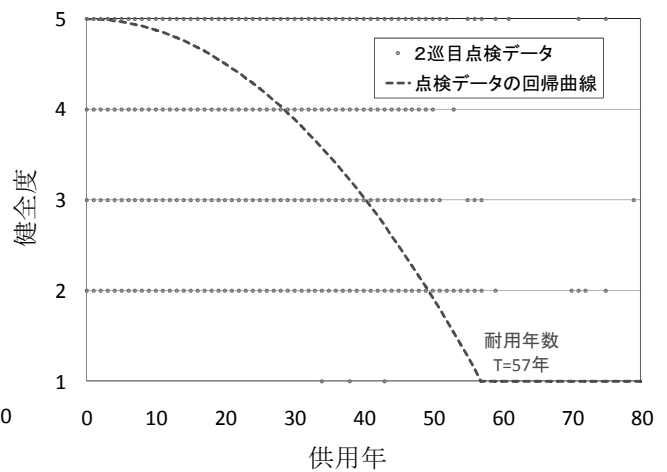


図-6 2巡目劣化曲線を用いた劣化曲線
(データ数 6378)

図-4 は、1987 年以降の床版全長打替えの数（総計 28 径間）を径間数で計数した数と年度の関係を示す。床版の劣化とは別の理由で施工されているためか、年度間の特徴は見えない。図中の棒グラフの色分けは、図-3 と同様である。

5. 床版の補修後の劣化曲線

ここでは、床版補修後の劣化曲線を点検結果から検討を加える。まず、劣化曲線は、以下の式を用いている²⁾。

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

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

ここで、 $r(t)$ は供用年数 t における健全度、 T は耐用年数、 f は形状係数を表す。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。耐用年数は供用開始から健全度 1 になるまでの供用年数を表す値であり、その値が大きくなるほど劣化の進行が遅いことを表す。供用年数 t が耐用年数 T より大きくなれば、式 (1b) に示すように健全度は 1 となる。また形状係数 f は劣化曲線の形状を決定するパラメータであるが、本研究では $f=2$ を用いた²⁾。

補修後の劣化曲線を示す前に、LCC の計算に用いた標準の床版の劣化曲線を示す。

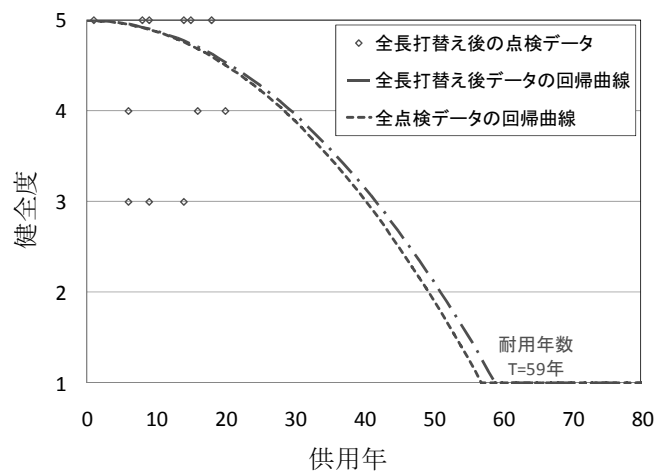


図-7 全長打替え後の点検結果を用いた劣化曲線
(データ数 31)

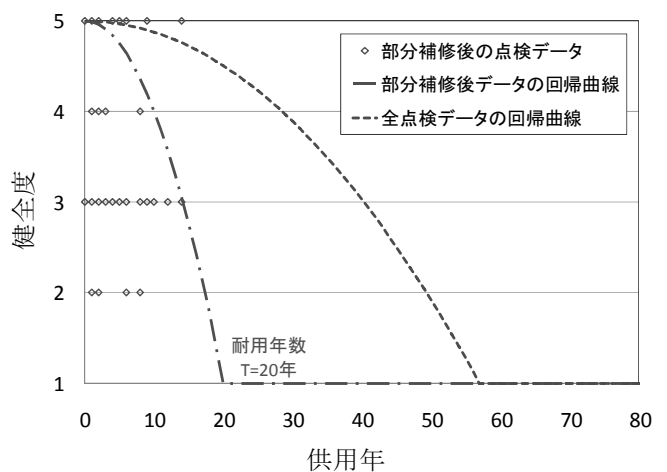


図-8 部分補修後の点検結果を用いた劣化曲線
(データ数 177)

図-5 に 1 巡目点検結果を用いた床版の劣化曲線を示した。データ数は 6468 径間である。同様に 2 巡目点検結果を用いた劣化曲線を図-6 に示した。データ数は 6378 径間である。緑の点で示されているのが個々のデータである。これらのデータに対して最小二乗法で求めたのが各図の赤の破線である。両曲線は、ほとんど同じ傾向を示している。

次に、全長打替え後の点検結果を用いた床版の劣化曲線を示したのが図-7 である。紫の ◇が点検データであり、対応する径間数は表-1 に示すように 21 径間であるが、同一径間に 1 巡目点検と 2 巡目点検が行われている場合は 2 と数えているのでデータ数は 31 となる。最小二乗法で得られた曲線を紫の一点鎖線で示している。図からわかるように、図-5、図-6 に示した標準となる劣化曲線とほとんど同じ傾向を示している。これは、床版の補修工事として、全長打替えを選択すれば、補修後の劣化の進行は、標準とする床版の劣化曲線と同様の傾向を示すことを示している。

一方、部分補修後の点検結果を用いた床版の劣化曲線を示したのが図-8 である。紫の ◇が点検データであり、データ数は上記と同じ理由により 132 径間の点検データ数 177 となる。最小二乗法で得られた曲線を紫の一点鎖線で示している。こちらは、全長打替えに比べて格段に劣化曲線の低下速度が速くなる傾向を示している。標準の劣化曲線が、健全度 1 になる年数がおおよそ 57 年であるのに対し、部分補修後は、20 年とほぼ 1/3 に低下している。3 倍の速さで劣化が進むことを意味している。

6. 写真による検証

いくつかの事例を写真により検証してみる。

最初に紹介する橋梁は、ポステンT桁で竣工は 1983 年である。2000 年に 1 巡目点検を受け、床版の評価は 5 の橋梁であった。関連する部材では、主桁が 5、橋面工は 5 の評価であった。2008 年 3 月に橋面防水が施工されたが、2 年後の 2010 年 11 月の 2 巡目点検では、床版の評価は 3 に下がった橋梁である。この時、主桁の評価は 3、橋面工の評価は 4 であった。写真-1、2 は、2011 年 11 月に撮った床版及び主桁の写真である。



写真-1 床版下面の写真 (2011年11月撮影)



写真-2 主桁の写真 (2011年11月撮影)



写真-3 鋼板接着と部分打替え (2011年11月撮影)



写真-4 拡大写真 (2011年11月撮影)

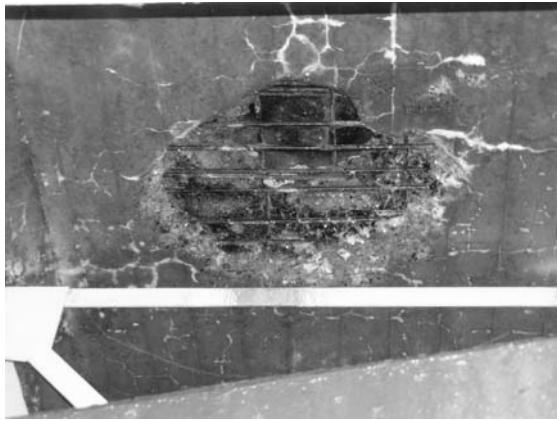


写真-5 床版の抜け落ち部 (2007年11月撮影)



写真-6 補修後の状態 (2011年11月撮影)

写真-1は床版下面の写真であるが、防水工を施工しているにもかかわらず遊離石灰が出ている。写真-2は主桁の中央の写真であるが、床版と同様に主桁上部から遊離石灰が出ている。防水工の施工が、床版の点検結果が悪くないにもかかわらず実施されたのは、耐震補強が行われたので、その時同時に施工されたものと思われる。

写真-3は、2001年11月に数径間の床版に対し鋼板接着及び部分打替えの補修が行われた橋梁床版である。1年後の2002年11月の1巡目点検では2と評価され、その後の2007年の2巡目点検でも2と評価された床版である。写真-3の上側が鋼板接着、中央部が部分打替えである。床版の右下部分を拡大したのが写真-4である。

写真-5は、2006年12月に床版の抜け落ちがあった橋梁の写真である。写真撮影時は仮補修として上面に鋼板が設置されていたが、完全に抜け落ちた状態であった。完全な補修は2007年12月に行われた。補修は断面修復であり、鉄筋は錆止めをしてそのまま使用している。橋

面防水は施工していない。その後の点検はまだ行われていないが、写真-6は現状である。良好な施工が行われた様子がわかる。

数例ではあるが、補修後の床版の状態を紹介した。

7. まとめ

LCCの計算をより合理的に行うためには、いくつかの課題があるが、その中の1つに補修後劣化曲線の変化がある。補修後も変化がなければ問題はないが、変化があるのであれば、当然LCCの計算に反映すべきであるし、あるいは補修工法の選択にも影響する可能性もある。

筆者らは、建設部が管理しているデータ群より、補修データと点検データを分析し、橋梁各部材の補修後の劣化曲線の変化に関して検討してきた。その中で、ここでは橋梁床版について分析した結果と、いくつかの実例を写真で説明した。検討の過程では、ただ単に補修と点検結果の突合せだけでなく、補修工事に対応する点検項目の評価を取り出し、それに基づいて補修後の傾向を調べた。結果は本文中に示したとおりであるが、全長打替えは、新設床版と同様の性能を示すが、部分補修は、劣化曲線の低下速度がかなり早くなり、新設床版のほぼ1/3程度の性能しか示さないという結果が得られた。

これは、橋梁床版の補修工事が抱えている問題、難しさを示すと同時に、補修工法の選択、つまり、ある程度の損傷は経過観察をしながら放置しておき、時期が来たら全長打替えを実施する、という選択もあることを示唆していると思われる。

なお、今後さらにデータを蓄積し、より精度の高い結論を導き出すよう研究を進めるつもりである。

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, 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.