

複数の損傷の可能性がある橋梁部材の補修後劣化曲線について

On deterioration curves of bridge members with possibility of plural damage

北海学園大学大学院工学研究科 ○学生員 工藤正行 (Masayuki Kudo)
北海学園大学工学部社会環境工学科 正 員 杉本博之 (Hiroyuki Sugimoto)

1. まえがき

戦後の国土復興に始まり、高度経済成長期以降、我が国の社会資本は急速に整備されてきた。近年、橋梁の老朽化が問題視されているが、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如何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に合理性があるかの説明が必要である。コストの合理性に関する説明の一つにライフサイクルコスト (Life Cycle Cost, 以下 LCC) の計算がある。従来の橋梁の更新においては、事後保全的な対策が主流で、橋梁がある程度悪くなれば全橋を取り換える、あるいは補修を行なうことを基本としていた。一方、予防保全的な対策は、中長期的な期間で考えればトータルのコストを軽減できるという考え方である。これらのことから、近年は橋梁維持管理システム (Bridge Management System, 以下 BMS) に関する研究が盛んに行なわれている。BMS は定期的な橋梁点検の実施、点検データの蓄積、補修履歴の記録、蓄積された点検データを基にした管理データベースの作成、データベースを基にした劣化予測、および LCC の最小化に基づく維持管理計画の策定からなる。LCC の計算においては、点検結果の蓄積を基に、各橋梁、各部材ごとの劣化曲線が求められている¹⁾。その時、補修後の劣化曲線も重要であり、LCC による総コストの計算の精度に大きく影響する。

地方公共団体の建設部 (以下、建設部) においては、平成 18 年度に橋梁維持管理の基本的な方針が策定され、橋梁点検も、約 5000 橋を対象に平成 12 年度～17 年度に 1 次点検、平成 18 年度～22 年度に 2 次点検を終了し、平成 23 年度～現在において 3 次点検が進行中である。筆者の一人は、これらの点検データをもとに新設橋梁及び補修後の橋梁の部材の劣化曲線について検討を加えてきた。それらのうち床版に関するものを図 - 1 および図 - 2 に示した^{2) 3)}。

図 - 1 および図 - 2 における赤色で示した曲線は、新設橋梁の床版の劣化曲線であり、6378 径間にに関するデータを最小二乗法で処理した結果である。ここでは、補修後の劣化曲線との比較のために示されている。補修工法は、全長打替と部分補修の 2 つに分類して集計されている。図 - 1 は全長打替後の劣化曲線を紫色で示し、図 - 2 は、部分補修後の劣化曲線を紫色で示している。これらの図の比較から、全長打替に比べ、部分補修はかなり早期に劣化する傾向がみられた。

補修と劣化の一般的な概念図を図 - 3 に示したが、上記の結果は部分補修の場合は、補修後は、 d_2 をとること

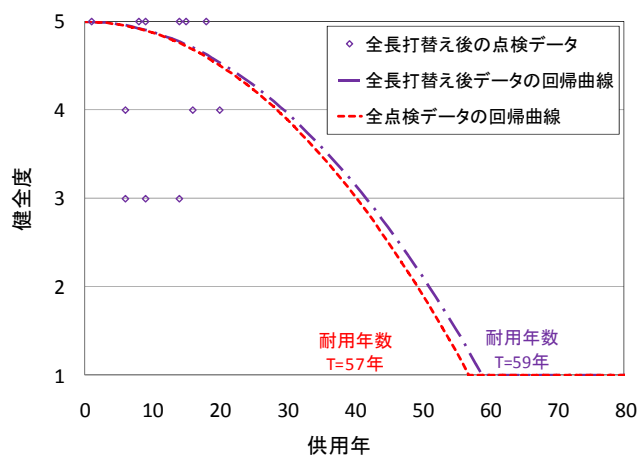


図 - 1 全長打替床版の補修後劣化曲線

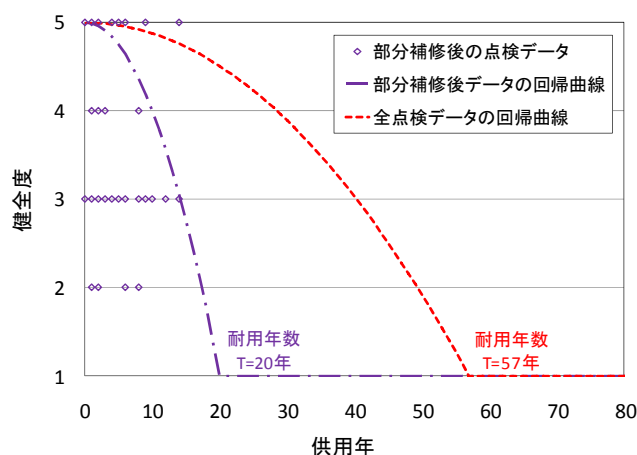


図 - 2 部分補修床版の補修後劣化曲線

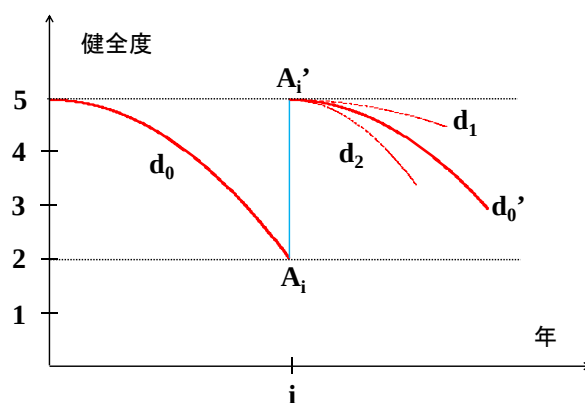


図 - 3 補修後劣化曲線

を示し、LCC の計算に課題があることを示した。

しかし、その後追加された点検および補修データの充実に伴い、以上のデータを精査した結果、特に補修後劣化曲線に関して、上記の結果は必ずしも妥当でないことが分かった。

本論文では、以上の精査の結果を踏まえて、点検対象単位の1部材内に複数の損傷の可能性のある橋梁部材の補修後劣化、および部分補修と全長打替の選択について考察を加える。

2. LCC と補修後劣化曲線

橋梁の点検においては、それぞれの部材種ごとに複数の点検項目がある⁴⁾。例えば、コンクリート床版の場合は、剥離・鉄筋露出、遊離石灰、豆板・空洞、抜け落ち、床版ひび割れ、変色・劣化、および漏水・滞水の7項目である。本研究では、全ての部材について、補修前後の点検の健全度に注目し整理・集計した。それらのうち、コンクリート床版の結果の一部を示したのが表-1、コンクリート躯体の結果の一部を示したのが表-2である。これらの補修工法は、両者とも部分補修であった。

これらの表は、それぞれ異なる3橋の補修前後の点検結果による各点検項目の評価を示している。「補修年」の欄は補修工事が実施された年度を、その下の欄は補修前後に点検が行われた年度を示している。

表-1の橋梁aを見ると、補修前は、＜剥離・鉄筋露出＞および＜遊離石灰＞は評価「2」であり、＜床版ひび割れ＞は「3」と評価されている。5年後に補修の記録があり、同年の点検結果では、全ての項目は「5」と評価されている。点検結果は最悪値が用いられるので、補修前の点検では、「2」と評価された床版は、補修後「5」と評価されたことになり、補修は適切になされたことが推察される。

一方、表-2の橋梁dは、2007年に補修前点検が行なわれ、＜ひび割れ＞および＜剥離・鉄筋露出＞は「3」と評価され、＜遊離石灰＞は「2」と評価されている。このコンクリート躯体の評価は最悪値の「2」となる。このコンクリート躯体は、2009年に補修が行なわれ、2012年の点検では＜ひび割れ＞は「2」と評価され、＜遊離石灰＞は「3」と評価されている。部材の評価は最悪値を用いるので、このコンクリート躯体は、補修前後で評価に変化はなく「2」から「2」に推移したということになる。前記した図-1および図-2を作成するときは、各点検項目の評価は見ることができなかったために、この場合、補修年より3年後に健全度「2」に劣化したと判断され、図-2のような関係が求められた。

表-1および表-2は、本研究で集計した結果の一部であるが、同様な傾向は、他でも多数みられている。これを考察すると、コンクリート床版（径間単位で処理されている）あるいはコンクリート躯体のように、損傷が広範囲に発生する可能性のある部材の劣化曲線等の検討を行う場合は、従来とは異なる考え方が必要になると考えられる。

その考え方の概念を図-4に示した。つまり、補修前点検で「2」と判断された部材を数年後に補修が施工さ

表-1 コンクリート床版の補修前後の点検結果
(部分補修)

橋梁名	a		b		c	
補修年	2012		2012		2012	
点検年	2007	2012	2008	2012	2007	2012
剥離・鉄筋露出	2	5	5	5	5	3
遊離石灰	2	5	3	5	3	3
豆板・空洞	5	5	4	3	5	5
抜け落ち	5	5	5	5	5	5
床版ひび割れ	3	5	4	3	3	2
変色・劣化	5	5	5	5	5	4
漏水・滞水	5	5	5	5	5	5

表-2 コンクリート躯体の補修前後の点検結果
(部分補修)

橋梁名	d		e		f	
補修年	2009		2010		2010	
点検年	2007	2012	2006	2011	2007	2011
ひび割れ	3	2	3	3	4	3
剥離・鉄筋露出	3	4	4	3	5	3
遊離石灰	2	3	3	3	5	5
豆板・空洞	5	4	5	5	5	4
すりへり侵食	5	5	4	5	5	3
変色・劣化	5	5	4	5	5	5
漏水・滞水	5	5	5	2	5	5
欠損	5	5	5	4	5	5

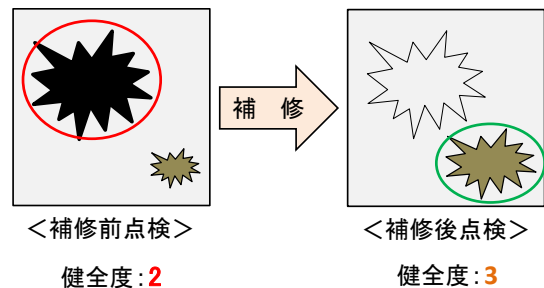


図-4 同一部材内の損傷の可能性を示す図

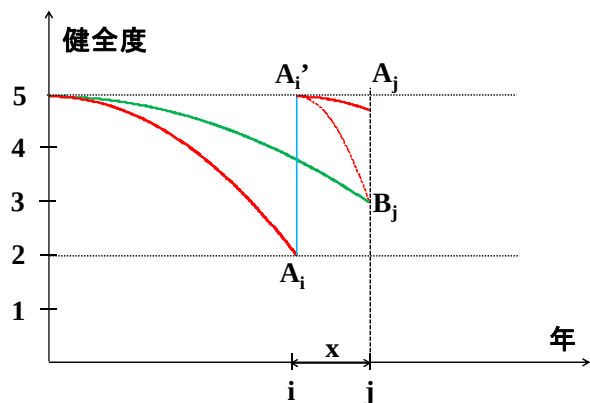


図-5 同一部材内での複数箇所の劣化曲線



写真-1 橋梁dの2007年点検時 A1 躯体



写真-2 橋梁dの2012年点検時 A1 躯体

表-3 コンクリート床版の補修前後の点検結果
(部分補修の場合)

		補修後健全度					
		5	4	3	2	1	計
補 修 前 健 全 度	5	763	24	37	5	0	829
	4	32	54	13	0	0	99
	3	40	6	110	5	0	161
	2	25	6	5	11	0	47
	1	0	0	0	0	0	0
	計	860	90	165	21	0	1136

れているが、補修後の点検までの間に同一部材の他の箇所、あるいは、補修前点検では最悪値と評価された点検項目と異なる点検項目に対する評価が最悪値となり、表-1あるいは表-2のような結果になったと考えられる。劣化曲線で示すと図-5のようになる。i年に A_i に対応する損傷が部分補修され A_i' に戻った。その後j年には A_j になると想定して従来のLCC計算は行われていた。また、筆者の一人の従来の研究では、x年後に B_j まで劣化が進行すると考えて、部分補修では、補修後急速に劣化するとしていたが、実際は、同一部材内に別の劣化曲線がある可能性があり、緑の劣化曲線に従って損傷が進行し B_j に至ったと推定される。

コンクリート床版、コンクリート躯体あるいは主桁のように損傷が同一部材内に発生しうる箇所が多数考えられる場合は、図-5に示した緑の劣化曲線は図のように1本ではなく、多数存在することも推定され、これらの劣化曲線の作成は、不可能と考えざるを得ない。つまり、床版、躯体あるいは主桁のような部材を内部に含む橋梁のLCCの計算は、その前提条件が崩れることになる。

3. 複数損傷の実例

写真-1は建設部の管理する橋梁dのA1躯体の2007年に点検が行われた際の写真である。そのときの健全度の最悪値の項目は遊離石灰であり、表-2に示すように

表-4 コンクリート躯体の補修前後の点検結果
(部分補修の場合)

		補修後健全度					
		5	4	3	2	1	計
補 修 前 健 全 度	5	812	48	41	6	0	907
	4	91	57	24	1	0	173
	3	73	21	109	2	0	205
	2	35	8	15	17	0	75
	1	0	0	0	0	0	0
	計	1011	134	189	26	0	1360

健全度「2」と評価された。この躯体には、2009年に部分補修が行なわれたが、その結果、2012年の点検(写真-2)では遊離石灰の健全度は「3」と評価されている。これは、本来はもっと良い判定がされるべきであるが、写真-2において赤丸で囲っているように、補修前とは異なる箇所において、遊離石灰が進行し、低い判定がなされたと考えられる。写真-1でも、これらの損傷の予兆が確認されるものの、おそらく2009年の補修時には放置され、2012年の点検で損傷が顕在化していることが確認された。また、ひび割れに関して着目すると、補修前の点検結果は「3」となっていたが、補修後の2012年の点検では、ひび割れの健全度は「2」となっており、この躯体の評価は最悪値をとり「2」となっている。

つまり、部分補修を行なったとしても、必ずしも全ての健全度を回復できるわけではないという実例を示した。

4. 補修後の健全度の現状

図-5や写真-1および写真-2で示したように、部分補修によって補修後点検の結果が改善されていない事例が確認された。ここでは、建設部が管理する橋梁において、部分補修の前後で点検データが明らかになっている橋梁のうちコンクリート床版およびコンクリート躯体について、補修前後の点検結果を考察する。

表-3には部分補修が行なわれた床版において、点検

7 項目について、補修前点検と補修後点検の健全度の関係を示す。たとえば、補修前健全度が「4」で、補修後の健全度が 3 の欄の<13>の意味は、補修前の点検で得られた 7 項目のうち評価が「4」であった床版の補修後の評価が「3」に下がった例が 13 ケースあることを示す。表 - 4 はコンクリート躯体の結果である。

表中、薄いオレンジの部分は、補修の結果、補修前より評価が下がった点検項目の総数で、緑の部分は、補修後に評価が上がった点検項目の総数である。塗りつぶしてない部分は、変化がなかったケースである。

これらの表より、コンクリート床版で評価が上がった点検項目の総数は 114 で、下がった点検項目の総数は 84、コンクリート躯体では、同様に上がった点検項目の総数は 243、下がった点検項目の総数は 122 であった。

5. 補修後劣化曲線の考え方と補修工法の選定

支承や伸縮装置といった部材は、補修が行なわれる際、その多くの補修工法が取替え工であり、これは新設と同じであると考えられることから、補修後も新設と同程度の性能をもって供用することが可能だと考えられる。

一方、表 - 3 および表 - 4 に示したコンクリート床版やコンクリート躯体はいずれも部分補修が行なわれた橋梁であり、同一部材内での損傷発生の可能性を考慮した場合、それらの部材は新設と同程度の性能をもつことは難しいため、補修工法あるいは補修箇所の判断は非常に重要であるといえる。

また、部分補修に関しては、写真 - 1 および写真 - 2 に示すように、補修前に点検結果のある橋梁に部分補修が行なわれた際、補修後点検結果において何らかの損傷を有する橋梁が多数を占めた。建設部の定期点検は平成 12 年度から始まっているため、補修前点検は概ね 10 年以内に行なわれている。したがって、補修の前後に点検結果のある橋梁の補修後点検時の供用年数は概ね 10 年以内である。しかしながら、多くの部材で補修後に何らかの損傷が発生している。その原因は、補修工事自身が適切に行われなく、同一箇所に再度損傷が現れた場合が考えられる。また、本文で示しているように、補修前点検時に劣化が顕著であった箇所に部分補修を行なうものの、劣化の軽微であった他の損傷を放置し、それが補修後点検では顕在化してくるという可能性もある。これらのどちらが、部分補修後の早期の損傷の原因かということに関しては、現状では断言できない。理由は、写真データの不足であり、特に補修がどこの部位に行われたかという写真データと補修後の点検において、補修箇所がどうなったか、現れている損傷と補修部位との関係を示す写真データ等が不足していることにある。

同一部材内に複数の損傷が起こりうるコンクリート床版、コンクリート躯体などにおいて部分補修の問題点が指摘された。対案として全長打替がある。全長打替は事例が少なく、特に補修前のデータがないので、部分補修と同様な検討はできない。しかし、補修後のデータはあるので、その比較を試みる。

表 - 6 は、床版の場合で、径間単位で全長打替あるいは部分補修による補修後の各点検項目の評価を集計した

表 - 6 全長打替と部分補修の補修後点検評価の比較
(床版の場合)

補修後健全度		5	4	3	2	1
全長打替	点検項目数	163	3	8	0	0
	割合	94%	2%	5%	0%	0%
部分補修	点検項目数	860	90	165	21	0
	割合	76%	8%	15%	2%	0%

結果である。全長打替の総データ数は 174 で、部分補修の総データ数は、表 - 3 の最下欄にあるように 1136 である。データ総数には差があるが、全長打替では、補修後 94%が評価「5」で、評価が「3」以下はわずか 5%であるのに対し、部分補修は、補修後 76%が評価「5」であり、評価「3」以下は、17%にも達することがわかる。補修後の評価に関しては、全長打替がかなり優位であることが分かる。

以上をもって、例えばコンクリート床版のように同一部材内に複数の劣化を考慮しなければならない場合は、それらの補修工法として全て全長打替をとるべきとは断言できないが、少なくとも部分補修が抱えている問題点は指摘できたと考えられる。

6. あとがき

本論文では、LCC の計算における補修後の劣化予測について考察し、床版のように同一部材内に複数の損傷が発生しうる場合の、全体と部分補修の比較を試みた。

つまり、補修前点検時に損傷が軽微な箇所に補修を行なわなくとも、放置していれば、補修後点検で深刻化していることもある。ある部材に部分補修を繰り返して行なっていくうちに、ある時点で交換していた方がコストを抑えることができたのであれば、LCC の最小化にはつながらない。また、LCC の計算そのものの前提条件が崩れることになることを指摘した。補修工法あるいは補修箇所の選択、およびその部材の供用年の計算には慎重な判断が必要である。

本研究は、紙面の都合もあり、コンクリート床版およびコンクリート躯体を主に取り上げたが、今後は、主桁、支承、ジョイント等、他の部材にもこの考えを拡張して、現在用いているデータをもとに、様々な分析、考察を加えて、補修後劣化曲線および適切な補修工法について検討を加えていく予定である。

参考文献

- 1) 澁谷直隆、杉本博之：地方公共団体の BMS の現実的問題設定と GA による最適化に関する研究、構造工学論文集、Vol.59A、2013。
- 2) 杉本博之、澁谷直隆、他 1 名：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。
- 3) Hiroyuki Sugimoto, Naotaka Shibuya: On the deterioration tendency of bridge slabs after repair work(in the case of a local autonomy), EASEC-13,2013。
- 4) 北海道建設部：橋梁点検・維持管理要領、2013。