

橋梁長寿命化計画における ライフサイクルコストの算出

辻 幸和*1, 金井 哲夫*2,
酒井 まどか*3, 江口 一成*4

1. はじめに

橋梁長寿命化計画は、平成25年度末に提出の締切りが予定されている。この計画書の作成において、橋梁のライフサイクルコスト（LCC）の算出が、大きな作業項目となっている。

本文では、LCCの算出手順とその算定基準となる橋梁構成部材についての劣化曲線を解説する。

2. 点検による対策区分

各地方公共団体の橋梁長寿命化計画において、橋梁の維持管理の目標を満たすため、先ずは管理している橋梁の点検により、健全性の把握に努めている。橋梁の点検方法について、各地方公共団体は種々の工夫をされている。

なお点検時においては、損傷が生じていなくても、構造の不具合を改良する視点を加えると、橋梁の長寿命化に有効である。例えば、伸縮装置が垂れ流し式であること、床版防水工が敷設されていないこと、排水管の位置や長さが不適切なこと、路面の排水と排水装置とがミスマッチであることなどの不具合をそれぞれ

改良して、長寿命化させる視点により、気付いた点等を記入できるような「点検調書」に従って実施している。

群馬県の例は、次の通りである¹⁾。

- ① 橋梁の健全性は、道路パトロールと群馬式定期点検により把握する。
- ② 群馬式定期点検は近接目視を基本とし、損傷状況の把握、対策区分の判定を記録する。群馬式定期点検は、1年に1度実施する「職員点検」と、5年に1度の専門家により実施する「定期点検」を行うものとする。
- ③ 「職員点検」は、定期的に概略点検を行って、日常管理を行いつつ、損傷発見のスクリーニングを行うものである。その際、重大な損傷が認められた場合は、緊急対応を行って「定期点検」を実施するものとする。

群馬県では、平成18年度に「群馬県橋梁点検要領(案)」を策定し、同年度から点検を実施している。平成21年度には、長寿命化の観点を取り込んだ内容に一部改訂をしている。新たに策定した点検区分と主な内容を表-1に示す。国土交通省の対策区分についても、群馬県の対策区分と対比して示している。表-1中の「定期点検」における対策区分のS2は、損傷の進行性が不明確な場合で「職員点検（簡易点検）」と「定期

筆者：*1（つじ・ゆきかず）前橋工科大学 学長、*2（かない・てつお）伊勢崎市建設部副部長兼道路維持課長、*3（さかい・まどか）プロファ設計（株）構造部構造課、*4（えぐち・かずなり）同

表-1 点検の対策区分

群馬県		国土交通省	
対策区分の判定区分 (職員点検 [簡易点検])		対策区分の判定区分 (定期点検)	
記号	内容	記号	内容
E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。	E1	同左
E2	その他、緊急対応の必要がある。	E2	同左
S0	定期点検のC～Aまでの区分は簡易点検対象外とするが、損傷状況によっては、定期点検の時期を早めるなどの判断を行う。	C	速やかに補修等を行う必要がある。
		S1	損傷が著しく、健全度に直接問題になる損傷があり、早急に詳細調査を行った上で、補修の必要がある。
		S2	追跡調査(職員点検・定期点検)により、損傷の進展を確認した上で、補修の要否の検討を行う。
		B	状況に応じて補修を行う必要がある。
		A	損傷が軽微で補修を行う必要がない。
		A0	点検の結果、損傷が認められない。
M	維持工事に対応する必要がある。	M	同左

表-2 健全度の指標と区分

劣化進行の過程	健全度		点検結果の対策区分
	指標	区分	
潜伏期	5.0	A	A0 損傷が認められない
進展期	4.0	B	A 損傷が軽微で補修を行う必要がない
加速期前期	3.0	C	B 状況に応じて補修等を行う必要がある
加速期後期	2.0	D	C 速やかに補修等を行う必要がある
劣化期	1.0	E	E 緊急対応の必要がある

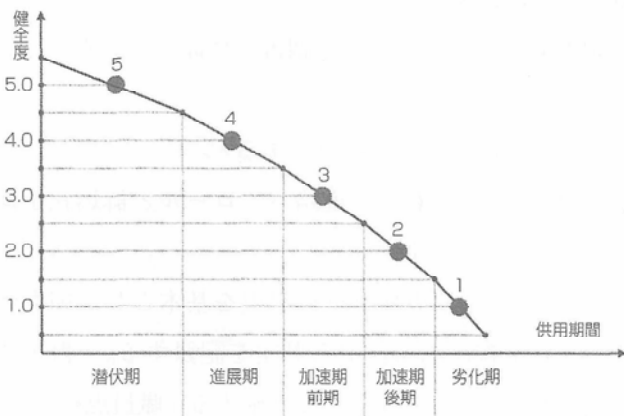


図-1 供用期間と健全度

点検」の継続点検によって進展を確認し、補修実施の必要性を判断すべき場合を考慮して設定している。

また、群馬県橋梁点検要領(案)では、上記の点検のほかに、塩害等の特定の事象を対象にして実施する「特定点検」、さらに地震、台風、集中豪雨等の災害や大きな事故が発生した場合、橋梁に予期していなかった異常が発見された場合に行う「異常時点検」がある。

3. 橋梁の健全度の算出方法と評価基準の設定

橋梁の健全度の算出方法には、一般化された方法はないが、維持管理する施設が損傷によってその価値が低下していくといった考えが、説明しやすい指標と考

えられている。すなわち、構成部材の損傷状況に着目した場合の健全度では、構成部材の損傷程度が基本となって、橋梁全体の健全度が算出される。このように構成部材ごとに健全度を算定することにより、地域ごとの損傷の特徴を把握することや、今後の維持管理方針の設定に用いるデータとすることができる。

「劣化予測に基づいて、何時、どのような対策を採るか」を判断するためには、劣化進行過程をベースにした「評価基準」を設定することが望まれている。すなわち、劣化進行の過程を、例えば潜伏期、進展期、加速期前期、加速期後期および劣化期の5段階に分け、橋梁を構成する全ての部材にそれぞれ適用する「評価基準」を設定して採用する考えである(図-1, 表-2)。

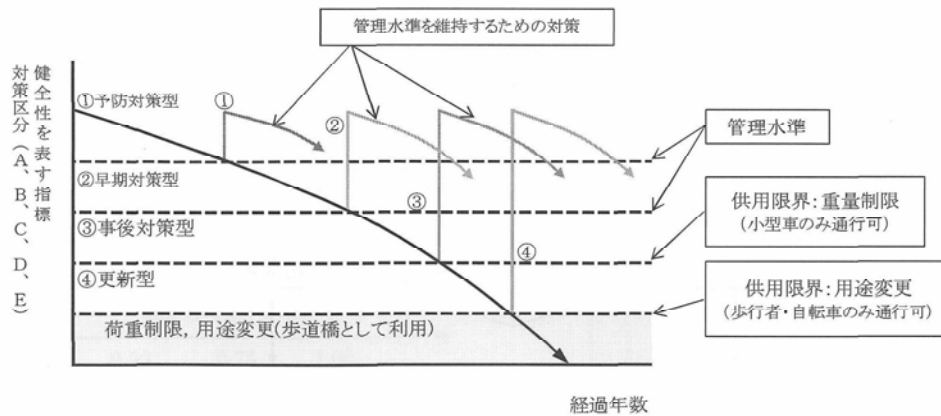


図-2 維持管理シナリオ

コンクリート部材は、土木学会のコンクリート標準示方書[維持管理編]に示された5段階の劣化進行過程の定義を準用することができる。その他の部材に関しても、同様の5段階の劣化進行過程を定義して、健全度の「評価基準」を設定している。

長寿命化計画の見直し・補修の実施では、表-1中の対策区分Bと対策区分Aの劣化損傷状況を確認して、長寿命化計画を見直すことにしている。なお、対策区分C（5年以内に対策を実施）と対策区分Mについては、それぞれ確実に実施することとしている。

また、ミニマムメンテナンスのブリッジ化を図った補修を実施し、損傷が生じていなくても、構造の不具合を改良する視点を盛り込む手法を採る場合がある。すなわち鋼橋では、重防食塗装を標準とし、損傷の著しい桁端部の部分塗替えを頻繁にし、伸縮装置の非排水化や床版の防水層の措置などを実施する例も報告されている。

4. 長寿命化対策としての維持管理シナリオの設定

各橋梁の長寿命化実施計画を作成するにあたり、従来型維持管理シナリオ（事後対策型と更新型に細分される）と長寿命化型維持管理シナリオ（予防対策型と早期対策型に細分される）のLCCを比較検討し、最適な維持管理シナリオを決定することになる（図-2）。

すなわち下記の2ケースについて、今後100年間の維持管理に関する余寿命LCC（工事費）を算出し、

比較を行う。この場合、維持管理の基本姿勢は予防保全であることを前提としている。また、100年間は新設橋の設計耐用年数であり、比較する際に必要十分な長さの期間であると想定している。

■ケース-1；従来型維持管理シナリオ

従来行われている維持管理のシナリオである。発見した損傷の補修は逐次行うが、耐荷・耐震補強やミニマムメンテナンス化を図るための改良は実施せず、既設橋の一般的な耐用年数である60年程度で架け替える。架け替えた後は、長寿命化型維持管理シナリオを適用する。

■ケース-2；長寿命化型維持管理シナリオ

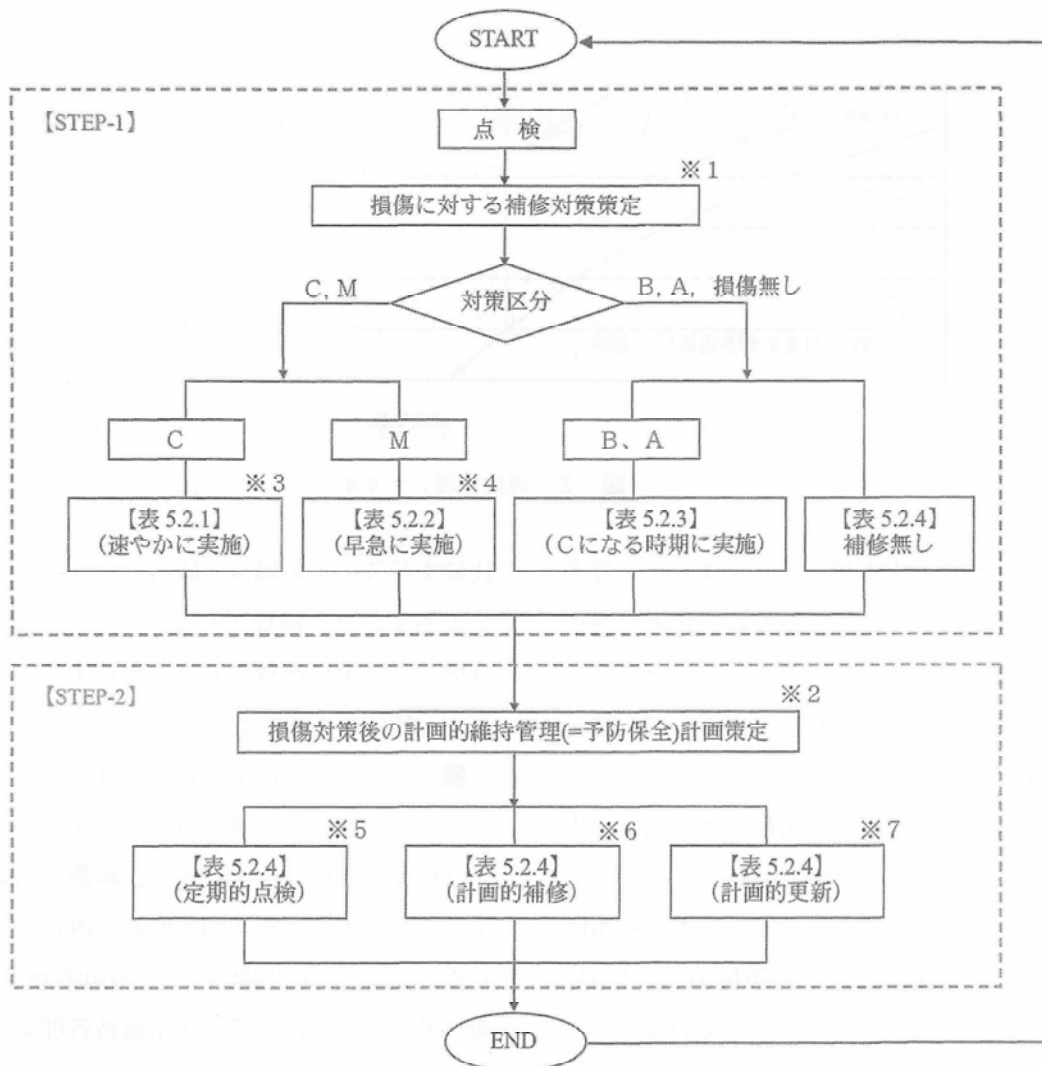
既設橋梁の長寿命化を図るため、損傷した部分の補修に加え、ミニマムメンテナンス化のための改良や、耐荷・耐震補強、既存不適格対策を実施する維持管理のシナリオである。そして、今後100年間維持管理をし続ける。

5. 損傷に対する補修費（コスト）の算定

各対策区分に対する補修費（コスト）の算定は、群馬県では図-3を参照するものとしている¹⁾。すなわち、以下のように対応している。

a) 対策区分Cと対策区分Mに対する補修費（コスト）

対策区分がCおよび対策区分がMの補修計画シナリオを、表などにより、橋梁形式、部材区分、損傷の種類、補修工法、工事費単価などに基づいて、具体的に



- 注) ※1：一度限り(新設橋の場合は無し)
 ※2：各部材の耐用年数毎に繰り返す
 ※3：「速やかに実施」…次回の点検までに補修等実施すること
 ※4：「早急に実施」…良好な状態を保つために日常の維持管理で早急に処置すること
 ※5：簡易点検、定期点検
 ※6：コンクリート部材のひびわれ補修、等
 ※7：伸縮装置取替え、鋼部材の塗替え塗装、等

図-3 長寿命化実施計画作成のフロー

示している。これらの補修は、点検結果より頻度の高い損傷の種類を抽出し、その損傷についてミニマムメンテナンスのブリッジ化を図った長寿命化工法における最適補修工法を設定している。

なお、余寿命LCCを算出するための各部材あたりの概算工事費単価は、重要な数値である。既往の設計成果や各学協会の出版物を参考にしている。

b) 対策区分Bと対策区分Aに対する補修費(コスト)
 定期点検において、対策区分がBまたは対策区分が

Aとなった箇所(部材)においては、その後の経過年数に伴って劣化や損傷が進行するものと考えられる。長寿命化型維持管理シナリオの例では、対策区分がCに進行すると、補修を実施することとしている。そのため、過年度までの点検結果を分析して得られた対策区分がC相当の代表的な損傷規模を、参照する単価表とし、橋梁長寿命化計画に盛り込むことになる。

対策区分がCになる想定年の補修時期の設定は、重要な検討事項であり、既往の点検結果の実績の平均値

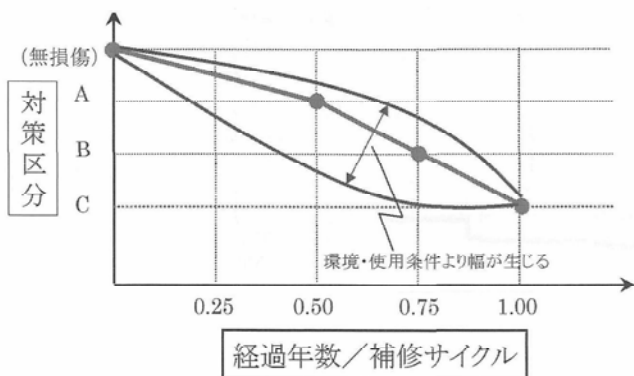


図-4 劣化曲線

を、一般に用いている。図-4に示す「劣化曲線」を用いるが、一般には、中央の直線が用いられている。今後、実績による検討が重要な検討項目である。

このように健全度の将来予測は、劣化速度を設定した劣化予測式である「劣化曲線」を用いて行う。劣化予測式は、点検データや過去の補修の履歴、既往の研究結果、学識経験者の知見などをもとに部材、材質等ごとに設定する。

なお、劣化予測式は数多くのデータをもとに設定しても、実際の橋梁においては劣化予測式通りには進行しないのが一般的である。そこで、図-5に示すように、点検した部材要素ごとに点検結果を通るように劣化予測式を修正することが必要になってくる。これによって、点検した部材要素の劣化予測式は現実に近いものとなり、LCCの算定精度を大幅に向上させることができる。

群馬県橋梁長寿命化計画において採用した劣化予測方法は、その時点では点検データの1次分が終了した程度であり、劣化の経年的な変化を分析することは困難であった。そのため、劣化曲線そのものの精度を求めても高いLCCの算定精度を得ることは難しいと考えられた。このため、設定した劣化曲線は、図-4に示したように、以下の想定を行った直線式で示している。

補修時期の設定は、対策区分Cになる想定年とする。

①対策区分Bの項目に対しては、耐用年数の0.25の

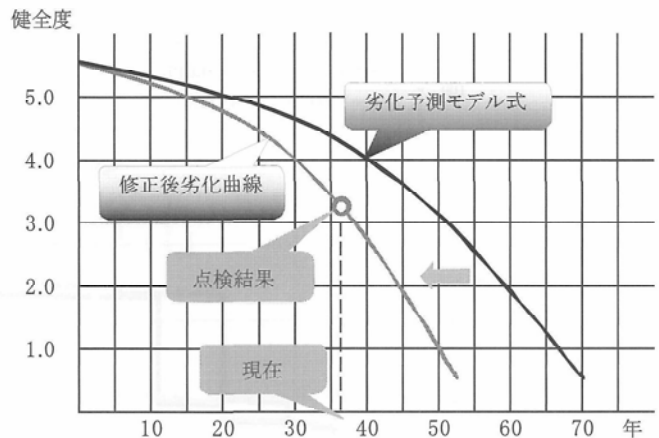


図-5 点検結果に基づく劣化曲線の修正

期間で、対策区分Cに達すると想定

②対策区分Aの項目に対しては、耐用年数の0.5の期間で、対策区分Cに達すると想定

今後、劣化曲線の精度を高めるため、橋梁点検結果をフィードバックする。そして独自の傾向が具体化してきた段階で、劣化曲線に盛り込むことが必要になる。

6. 損傷無しに対する補修および損傷対策後の計画的補修・更新コストの算定

「定期点検」で損傷が無いと判定された部材や「定期点検」により認められた損傷に対する補修を行った後は、定期的な点検・維持・管理を繰り返す過程において、適切に部材の更新等を行うものとする。

経年劣化による計画的な補修と計画的な更新の具体策も、重要な検討項目である。耐用年数と取替え工事費については、既往の文献や資料を参考にしている。

7. 個別橋梁の最適シナリオの決定

個別橋梁のLCCが最小あるいは最適となる補修計画を選定するために、橋梁ごとに従来型維持管理シナリオおよび長寿命化型維持管理シナリオを設定する。そして、個別橋梁のシナリオごとに算出したLCCを比較検討して、LCCが最小あるいは最適となる補修計画を選定する。

一般的には、上記の余寿命LCCの比較結果より、ケース-2「長寿命化型維持管理シナリオ」を最適シ

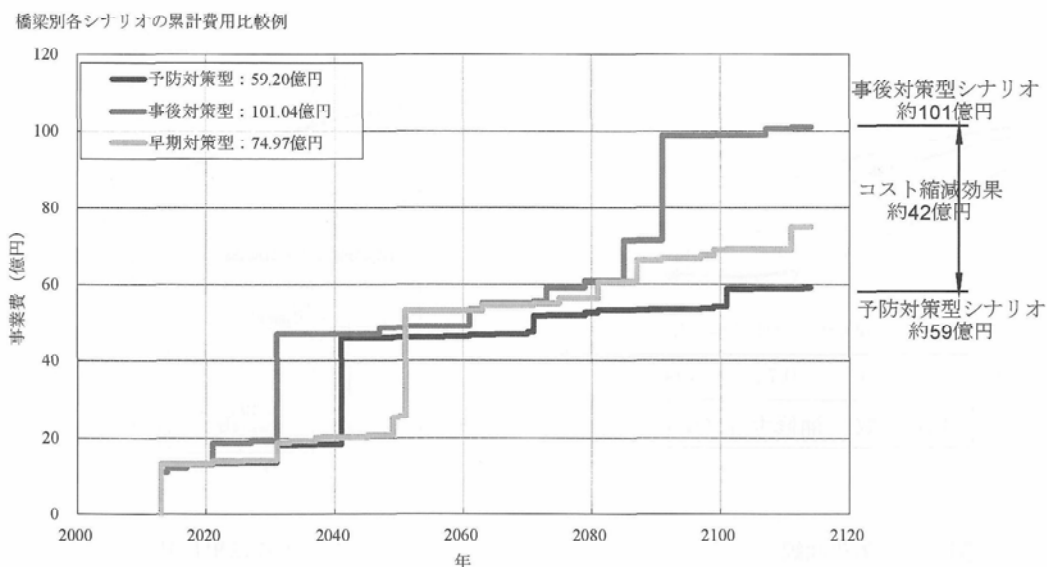


図-6 橋梁別各シナリオ累計事業費用の比較例

ナリオとする。そして、長寿命化の実施計画を作成する。

8. 初期値のアウトプット

維持管理の対象橋梁すべてにおける初期値（健全性・耐震性・耐荷性）を、100年間にわたり積み上げる。その結果を図-6に例示する²⁾。

9. 維持管理費の平準化

中長期の予算の策定に当たっては、LCCの最小化や最適化だけでなく、支出する費用の年度ごとの平準化を図ることが、必要になってくる。この予算平準化にあたっては、次のような目標を立てて、補修計画（健全性・耐震性）と架替え計画の全てを含めて算定している¹⁾。その場合に、耐荷性の目標達成は、先送りすることがある。群馬県における例を以下に示す。

- ① 5年間で、対策区分S0の対策を終了することを目標とする。
- ② 6年目以降は、近年の補修事業費を考慮し、補修計画の年間予算額15.0億円、架替え計画の年間予算額1.5億円を想定し計画する。

なお、平準化の計算においては、初期点検時のデータを踏まえて実施せざるをえなくなる。したがって、今後の定期点検データの蓄積により、劣化予測の精度の向上を図る。そして、その精度の向上により、対策

の実施にあたってのさらなるコストの縮減を可能にすることができる。

10. 対象橋梁ごとの概ねの次回点検時期および修繕内容・時期または架替え時期

対象橋梁個別ごとに、「定期点検」とともに、必要な対策として主桁や床版、伸縮装置、支承などの修理や取替えなどを、年度ごとに計画していくことになる。そして、橋梁そのものを取り替える計画も、橋梁長寿命化計画には盛り込まれる。

11. 長寿命化計画による効果

修繕および架替えに要する経費について群馬県では今後50年間で算定し、例えば約6400億円から約1200億円へと、5200億円の減少となり、約8割の縮減が見込まれる¹⁾などの、橋梁長寿命化計画の効果が試算されている。

12. おわりに

橋梁長寿命化計画書の作成において、大きな作業項目となっている橋梁のライフサイクルコスト（LCC）の算出の手順、およびその算定基準となる橋梁構成部材についての劣化曲線の位置付けと作成方法を解説した。本文が、橋梁長寿命化計画の作成と実施においてお役に立てば、幸甚である。

本文の作成に当たっては、群馬県橋梁長寿命化計画と橋梁長寿命化修繕計画策定業務委託（伊勢崎市内全域）並びに関連する既往の文献を参考にさせて頂いた。付記して、厚くお礼を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 群馬県橋梁長寿命化計画, 群馬県県土整備部 道路整備課, 30pp. 平成22年10月
- 2) 平成23年度補助公共 橋梁長寿命化修繕計画策定業務委託（伊勢崎市内全域）, 伊勢崎市建設部 道路維持課, プロファ設計株式会社, 58pp. 平成24年3月