

橋梁におけるライフサイクル期間や割引率が LCCに及ぼす影響

(株)ニュージェック 保田敬一^{*1}
 中央復建コンサルタンツ(株) 慶道 充^{*2}
 京都大学経営管理大学院 小林潔司^{*3}

By Keiichi YASUDA, Mitsuru JIDO and Kiyoshi KOBAYASHI

橋梁の維持管理シナリオを決定することは重要であり、その方法として、LCC最小化モデルにより算出された維持管理シナリオを採用することがよく行われる。LCCを算出する際には、状態推移確率から求める劣化予測モデル、設定するライフサイクル期間、割引率などのパラメータが結果に与える影響は無視できない。本研究では、直轄国道の鋼上部工における補修頻度の高い鉄筋コンクリート床版を対象にして、設定するライフサイクル期間と割引率の違いがLCCに与える影響を維持管理シナリオごとに試算する。これにより、橋梁のコンクリート床版の維持管理計画を策定する場合、ライフサイクル期間と割引率の設定方法に関する1つの考え方を示す。さらに、予算制約を考慮した予算シミュレーションを実施することにより、LCCが最小となるような維持管理シナリオを決定するためのマネジメント情報を獲得できることを示す。

【キーワード】 ライフサイクル期間、割引率、LCC、橋梁

1. はじめに

アセットマネジメントに関する動きが盛り上がりつつある。2002年8月から始まった(社)土木学会建設マネジメント委員会アセットマネジメント研究小委員会(委員長:小澤一雅東京大学教授)が設立されるとともに、東京都、青森県、横浜市、静岡県、大阪府など、自治体も取り組みを開始し、現在では半数以上の都道府県で何らかの維持管理計画策定に関する取り組みが行われている。しかし、自治体の維持管理に関する意識の差、点検に費用がかかり過ぎることなどから計画策定の進捗は早いとはいえない。国土交通省は対症療法的な修繕から、こまめな修繕による「悪くなる前に直す」予防的修繕への転換を促すために、橋の耐用年数を予防的修繕で100

年まで延ばす長寿命化促進事業を2007年度から始める方針を明らかにした¹⁾。地方自治体には修繕計画を作らせ、その費用の半分を補助することや、補助を受けるには、修繕計画の策定に土木工学の専門家らが参加し、その計画の内容を一般に公表することを条件にすること、費用補助が受けられる期間は、都道府県と政令市が管理する国道や主要地方道は5年間、市町村道は7年間とするなどである¹⁾。この国の施策により、一気に自治体の橋の長寿命化計画と維持管理計画が進むものと予想される。

構造物の中長期維持管理計画を策定するにあたり、重要なのは、ライフサイクル費用と維持管理シナリオである。補修の優先順位付けや維持管理シナリオ決定などでは意志決定指標となるのがライフサイクル費用であるが、まだまだ評価期間や割引率などの考え方が混乱して用いられていることが多い。小林ら²⁾は割引率を用いないで半永久的に供用される資産として位置づける平均費用法を提案しているが、橋梁を半永久的に継続すべき資産(非償却性資産)という条件下でのマネジメント戦略であるという条件がつく。橋梁の新設や機能向上といった施策が予

*1 東日本社 技術開発グループ

Tel.03-5625-1796 E-mail : yasudakc@newjec.co.jp

*2 保全技術系G

Tel.06-6160-3216 E-mail : jido_m@cfk.co.jp

*3 経営管理講座 Tel.075-383-3222

E-mail : kkoba@psa.mbox.media..kyoto-u.ac.jp

定されている場合には便益なども含めて割引現在価値法を用いることになるが、このような償却性資産に対して平均費用法は適用できない。このようにライフサイクル費用（Life Cycle Cost：以下、LCCと略記する）計算において、割引率を考慮する場合やしない場合など、割引率に関して様々な考え方や条件制約などが存在する。このように、ライフサイクル費用を算出する場合、ライフサイクルの設定年数、割引率などの考え方や適用の条件などが統一されていないのが現状である。今後、地方自治体による維持管理計画の策定が進展することが期待されるが、ライフサイクル費用を算出するまでの条件であるライフサイクル評価期間や割引率に相違がないようにしなければならない。

一方、LCC 最小化モデルを用いて維持補修シナリオを求めることが多いが、このような方法を採用する場合、予算制約条件を考慮していない場合が多く、計算結果が実態にそぐわないなどの課題もある。

本研究では、前述の課題を解決するために、ライフサイクル期間や割引率を変えると LCC が異なった値となるような具体的な事例を示す。その上で、LCC 計算において、ライフサイクル期間や割引率を統一することの重要性を指摘する。さらに、維持管理シナリオを算定するために、予算制約下での LCC 最小化となる最適な維持管理戦略が予算シミュレーションを行うことで可能となることを示す。

以下、2. では本研究の基本的考え方として、LCC の考え方と本研究の位置づけを、3. では、LCC 計算におけるライフサイクル期間と割引率の関係を、鋼上部工の RC 床版を対象にした適用例を示す。4. では複数の予算シナリオから予算シミュレーションを行うことで、予算制約下での最適維持管理戦略を立案することが可能になることを示す。

2. 本研究の基本的考え方

(1) 従来の研究概要

LCC という概念はわかりやすいため、国内外においても古くから様々な方面で使われてきた。維持管理にも費用が必要であり、更新費用や寿命という概念までを考えるという意識を喚起したという意味で、今では LCC という用語はごく一般的に使われている。

LCC は維持管理における費用最小化のための指標

としてこれまでに数多く研究がなされてきている。この中で、LCC に影響を及ぼす様々な因子に関する検討が行われている。何十年あるいは何百年先の LCC を精度よく予測することは難しいが、少なくとも新設構造物の設計のみならず、既設構造物の維持管理に LCC を考えることが当たり前になってきたといえる。

一方、アセットマネジメントを行っていくためには、意思決定の判断の指標が必要となるが、LCC 最小化モデルなどで政策が決定されることが多い。維持管理を効率的に行っていく上で LCC という指標および LCC による評価は欠かすことはできない。しかし、LCC 分析における課題はまだいくつかあり、これらは LCC の使用目的によっても条件を変えるべきものがあると考えられる。

a) LCC を構成する要素

どの費用項目を計上するかが明確になっていない。維持管理費としては調査・点検、補修・補強・部分更新、設計費、清掃等や、外部コストの中から、どの要因を考慮すべきかが、不明確である。

b) 各要素の費用算出法

外部コストについては費用便益分析の手法が参考になるが、費用算出法が明らかになっていないものがある。

c) 将来予測

劣化予測の方法や寿命の予測など技術開発が遅れている。また、予測精度に対する誤差や不測の事態発生など、リスクを考えた分析法を確立する必要がある。

d) 貨幣価値の扱い

社会的割引率の取り扱いが問題となる。費用便益分析においては、割引率を考慮することになっているが、アセットマネジメントの観点からは各年の財務分析を必要とするため観点が異なってくる。また、社会的割引率を設定する際に、費用便益分析で用いている 4% と同様でよいか議論が必要と考えられる。この 4% の意味は、将来的に発生する費用を年 4% の割合で割り引くことを意味しており、例えば、5 年後に 100 万円の費用が発生するのであれば、 $100 \div (1+0.04)^5 = 82.2$ 万円が現在の価値となる。社会経済情勢が異なるように、各国によてもこの割引率の値は異なっている。

e) 評価年数

LCC 評価の対象とする期間長が明らかとなっていない。また、評価は評価最大年（50 年であれば 50 年間）のみでよいか、途中年のチェックも必要なのかルール化が必要である。

f) 他のコスト分析との扱い

LCC が安ければ初期コストはいくらでも高くなつても良いか、初期コストをどのように判断するか確立していく必要がある。また、その他 B/C（費用便益比）や ABC 分析（品質管理でいうパレート分析と実質的には同じもので、管理対象を重要な順に A・B・C の 3 つのランクに分ける方法）などの評価結果も含めることも考えられる。

本論では、この中の社会的割引率と評価期間を取りあげて検討を加える。

(2) LCC の考え方

「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方提言要旨」³⁾における LCC の考え方を紹介する。

個別の構造物の維持補修計画を考えた場合、いつどのような補修・補強を行っていくかという維持管理のシナリオは無限に存在する。例えば、図-1 に示すように、評価期間中に小規模な補修を繰り返すケース 1 のシナリオや大規模な補修を 1 回だけ実施するケース 2 のシナリオなどが考えられる。ケース 1 は予防的補修を、ケース 2 は事後的補修を想定している。このケース 1 とケース 2 を LCC で比較した場合、ケース 1 の方が小さくてすむため、現時点ではケース 1 の補修シナリオを採用することになる（図-2 参照）。

この提言要旨には、LCC を検討する上での供用期間として具体的な年数が記述されていることに着目する。これを素直に受け取れば、LCC を計算するには具体的な検討期間の設定が必要ということになる。さらには、割引率の記述がないことから、非割引現在価値法を用いていると考えられる。

LCC の計算方法（ライフサイクルを 100 年と限定するのか、大規模補修までの期間とするのか、無限遠方の時間軸とするのか）によって最適解が異なることは容易に想像できる。また、LCC の評価期間を 100 年から 120 年に変えることにより、最適解が異なる結果となることも容易に想像できる。このことよ

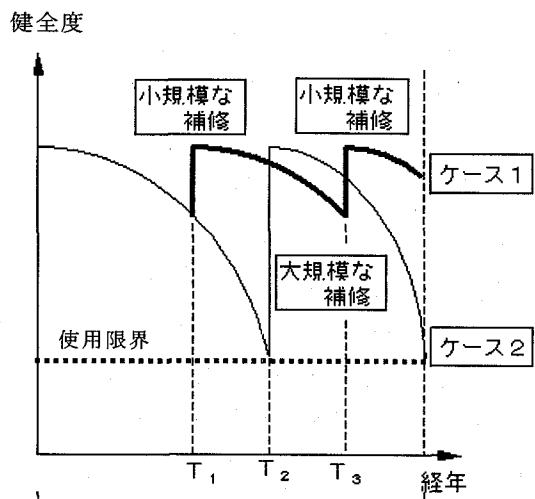


図-1 健全度の推移³⁾

ライフサイクルコスト

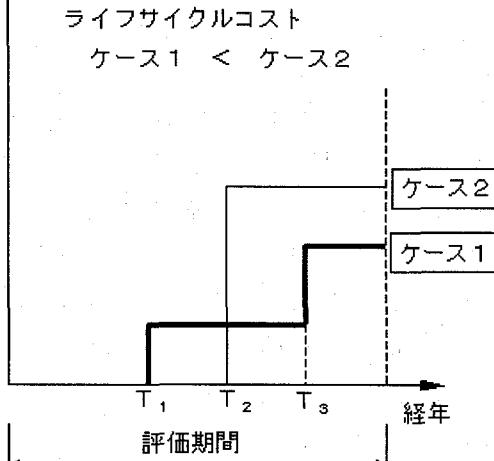


図-2 ライフサイクルコストの推移³⁾

り、「評価期間を考えることに意味があるのだろうか」、「割引率をいくらにするべきか」、さらには、「それ以前に割引率は LCC 計算において必要なのであろうか」という問題が生まれてくる。

(3) 割引率

社会経済分析では、将来に発生する費用と効果を現在価値に割り引くことが行われる。割引を行う根拠は、1) 正の時間選好性、2) 資本のプラス生産性である。1) については、人々は同じ金額であれば現在支払うよりも将来支払うことを好むからであり、2) に関しては、資本は将来利益を生み出す可能性があるからである。

LCC 計算においても割引率を考慮するか、しないかで結果が変わってくる。また、割引率が LCC 計算に与える影響は大きいことが報告されている^{4)~7)}。割引率を高く設定すると、将来発生する維持管理費用を現在価値に割り引いた場合、LCC に与える影響が非常に小さくなってしまうことになり、予防保全戦略よりも事後保全戦略の方が選択されてしまうことが多くなる。逆に、割引率を低く設定すると、新設の場合や機能向上といった便益を考慮すべき時に、便益で用いる割引率と維持管理で用いる割引率との差が生じることになる。割引率を用いる場合の条件、用いなくても良い場合の条件などを整理する必要があると考える。

(4) 本研究の位置付け

貝戸ら²⁾は、割引率を用いた LCC の節約額の現在価値が小さくなる場合は、補修を先送りにした方が経済的になる計算結果が生まれることを指摘している。このため、割引率を用いた場合、橋梁の長寿命化戦略の経済効率性を正当化出来ない場合が多々発生する可能性がある。一方、割引率を用いない LCC 評価指標として、累積ライフサイクル費用という評価指標がある。この場合、1) 目標年度の設定の任意性、2) 異なる目標期間をもつ補修効果を単純に比較できないという問題がある。そこで、貝戸らは割引率を用いないで LCC を評価する方法として、ある期間中に発生する LCC を毎年等価な平均費用の流れとして評価する方法を提案した²⁾。この方法は、橋梁を半永久的に継続すべき資産（非償却性資産）という条件では有効であるが、それ以外のマネジメント戦略も多数考えられる。それらの場合は新設や機能向上がもたらす便益も含めて現在割引価値を用いる必要がある。この場合、評価期間が終了する時点の残存価値を考えることによって、例えば、架替えは大規模補修と考えることで、無限時間軸上の維持管理というシナリオが成り立つ。また、割引率も他の財源の経済評価と同等に扱うことが求められることから、残存価値を考慮する方法は、検討に値すると考える。

本研究の目的は、(1)~(3)でも述べたように、LCC を計算する際に評価期間を設定すべきなのか、設定するなら何年が良いのかという問題点を解決すること

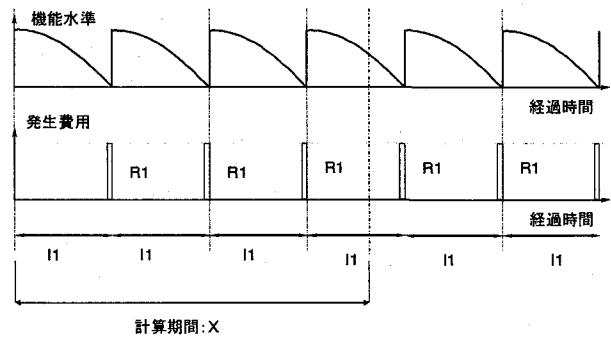


図-3 劣化と補修の模式図

にある。また、同時に、割引率の取り扱いも含めて考える。

3. LCC 計算における評価期間と割引率の関係

(1) 維持管理シナリオの設定

維持管理シナリオを策定するとき、LCC による評価が行われることが多い。たとえば、国土交通省の「道路構造物の今後の管理・更新に関する提言」³⁾では、LCC の評価により、最適な維持管理シナリオを導き出している。LCC は一般的に

$$\text{LCC} = \text{建設コスト} + \text{維持管理コスト} + \text{廃棄コスト} \\ (+\text{社会的コスト}) \quad (1)$$

式(1)の社会的コストについては、定量的な評価が困難なことから、定量的に計算できる項目が限られる。既設構造物に対しては、式(1)にある「建設コスト」を省略し、かつ廃棄を前提とせず、「維持管理コスト」のみで LCC が計算されることが多い。

維持管理シナリオ策定に用いられる LCC であるが、幾通りかの計算方法が用いられる。たとえば、「道路構造物の今後の管理・更新に関する提言」では、検討期間に発生する費用の総和をとって LCC としている。この方法は年次ごとに発生する費用を単純に累積することから累積費用法と呼ぶことにする。栗野等⁸⁾、田村等^{9),10)}は、現時点から半無限遠方に伸びる時間軸で発生する費用の割引現在価値の総和をとって LCC としている。これを割引現在価値法と呼ぶ。また、小林等²⁾は半無限遠方に伸びる時間軸で発生する費用の年平均値を LCC とし、平均費用法と呼んでいる。以上 3 つの計算方法、1) 累積費用、2) 割引現在価値、3) 平均費用について検討を進

める。

3通りの LCC の具体的な計算方法は次の通りである。比較のために、図-3に示す状況を考える。図-3は横軸に経過時間、縦軸に機能水準と発生費用を示している。機能水準は時間の経過とともに低下し、ある一定水準に達すると補修が行われ、当初の機能水準に回復する。このときの補修費用を R1 としよう。補修後も補修前と同じ劣化過程をたどり、再びある一定の機能水準に達すると同じ補修が行われ、機能水準が当初の水準に回復する。これを繰り返す状況を仮定する。このときの補修間隔を I1 とする。

a) 累積費用法による計算

ライフサイクルとして X という時間軸を考える。この計算期間に n 回の補修が発生すると考える。このとき発生する LCC は

$$LCC = \sum_{k=1}^n R1 = n \times R1 \quad (2)$$

b) 割引現在価値

半無限遠方にのびる時間軸を考える。この時間軸上に発生する費用の現在価値の総和を LCC とするのが割引現在価値法であり式(3)のように与えられる。ここで、δ は割引率(4%)を表す。この式(3)での分母は補修費用の割引を表しており、X という計算期間に n 回の補修が発生した場合、補修間隔 I1 に補修回数 k を乗じて各補修時期(年数)を算出している。

$$LCC = \sum_{k=1}^n \frac{R1}{(1+\delta)^{kI_1}} \quad (3)$$

c) 平均費用法

平均費用法は施設の補修から、次期補修までの期間をライフサイクルと考え、このライフサイクルに発生する費用の年平均費用を LCC とする。図-3に示す模式図を参考にすると、平均費用法による LCC は次式で表される。

$$LCC = \frac{R1}{I_1} \quad (4)$$

本論では、これら 3 つの LCC 計算による最適解の違いについて比較する。

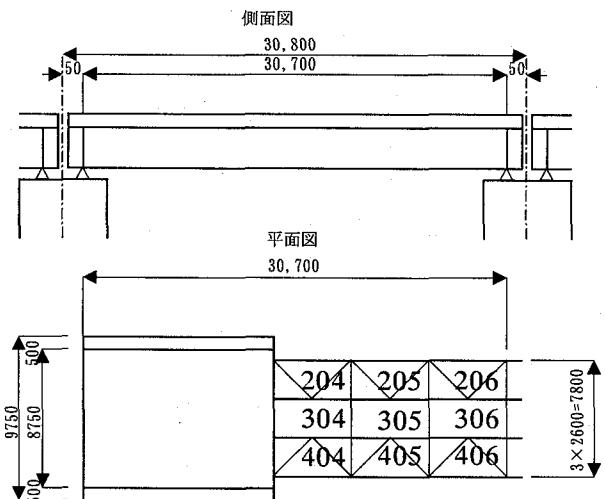


図-4 橋梁一般図

(2) 対象構造物¹¹⁾

過去の点検データから劣化状態推移確率を算出するにあたり、直轄国道における A 橋の RC 床版点検データから算出する。以下に A 橋の諸元を示す。

- ・橋長 : 358.58m
- ・支間長 : 8@30.700m+3@26.900m+30.900m
- ・交通量 : 17,171 台 (12h), 大型車 27.8%
- ・有効幅員 : 8.750m (総幅員 : 9.750m)
- ・適用示方書 : 昭和 47 年道示 (TL-20)
- ・架設年次 : 昭和 50 年
- ・上部工形式 : 鋼単純鉄桁
- ・下部工形式 : 控え壁式橋台 (鋼管杭), T 型橋脚 (鋼管杭)

また、図-4 に橋梁一般図を載せる。図中の平面図で 204, 304 などは点検における床版のパネル番号を表している。

(3) 損傷度推移状況¹¹⁾

RC 床版は、交通荷重に伴う繰り返しによる疲労損傷が主で、ひびわれの進展メカニズムがある程度解明されており¹²⁾、点検で捕らえやすいため、予測も可能と考えられる。損傷度の判定は橋梁点検要領(案)¹³⁾により、点検の方法は橋梁点検・補修の手引き(近畿地方整備局版)¹⁴⁾によっている。

状態推移確率の算出方法は、平成 6 年 11 月および平成 14 年 11 月の過去 2 回の点検結果における各健全度を用いた。損傷度ランクの定義¹³⁾を表-1 に示す。ここで、昭和 50 年の供用開始時点から平成 6 年 11 月までの間の点検結果は残っていない。劣化曲線

を精度良く求めるには、床版パネルごとに状態がどのように推移したか、あるいは同じパネルでも損傷度ランクがⅣからⅡに変化した際に同じ位置であつたかなど、損傷ごとの時系列判定ランクを追跡する必要がある。しかし、過去の点検報告書などが残っていないことや、損傷位置の変化を厳密に特定することは点検報告書での写真などからではかなり難しいこと、現状の点検方法がそのような過去の損傷推移を継続して目視・判定・記録するような仕組みにはなっていないなどの理由から、各損傷の時系列の判定ランク推移を追跡することは難しい。

そこで、劣化曲線を算出する際に個別の損傷を時系列で追跡して損傷度ランクの推移から求める方法と、全体の損傷度割合の推移から算出する方法とを比較した。

昭和 50 年から平成 6 年までの 19 年間と、平成 6 年から平成 14 年までの 8 年間とでは RC 床版の使用条件、特に大型車交通量が大きく異なっていること、今後、国道の交通量がほぼ横ばいに推移するであろうことを考えると、今後床版を打ち変えた後の劣化曲線は昭和 50 年からの状態よりも、むしろ平成 6 年当時の交通量が増加している状態からスタートするのが妥当と判断した。

図-5 に RC 床版の損傷度推移状況を示す。また、その損傷度の推移を百分率で表したもののが表-2 である。

(4) 状態推移確率

A 橋の平成 6 年 11 月および平成 14 年 11 月の過去 2 回の点検結果報告書と残っている損傷写真から同じ損傷をできるだけ特定し、損傷の状態、位置、深さ、広がりなどを判断し、損傷ランクの推移を表-3 のように求めた。ここで、表-3 以降は損傷度の表記をOKが 5 に、IV が 4 に、III が 3 に、II が 2 に、I が 1 に対応させる。表-2 と表-3 で合計が異なるのは同じパネル内の損傷でも平成 6 年と平成 14 年では異なる位置にあつたり、損傷の種類が異なるなど、個別の損傷を時系列の推移で追跡したためである。

マルコフ推移確率の算出には、「新都市社会技術融合創造研究会：インフラ資産評価・管理の最適化に関する研究プロジェクト」で開発された推移確率

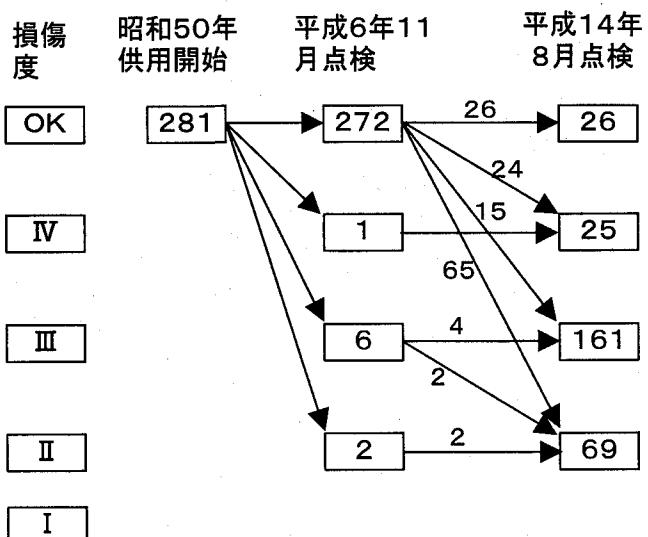


図-5 RC 床版の損傷度推移状況

表-1 損傷度判定区分¹³⁾

判定区分	判定内容
I	損傷が著しく、交通の安全確保の支障となる恐れがある
II	損傷が大きく、詳細調査を実施し補修の必要性を検討する必要がある
III	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある
IV	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある
OK	点検の結果から、損傷は認められない

表-2 RC床版の損傷度推移状況(百分率)

	H6.11.18点検結果		H14.8.29点検結果	
	部材数	(%)	部材数	(%)
OK	272	96.80%	26	9.25%
IV	1	0.36%	25	8.90%
III	6	2.14%	161	57.30%
II	2	0.71%	69	24.56%
I	0	0.00%	0	0.00%
合計	281	100.00%	281	100.00%

表-3 時系列の損傷度推移

	H14年点検				
	5	4	3	2	1
H6年点検	5	24	23	160	62
	4	0	0	0	0
	3	0	0	2	3
	2	0	0	0	2
	1	0	0	0	0
合計					276

表-4 状態推移確率

健全度	5	4	3	2	1
5	0.7394	0.1946	0.0641	0.0018	
4	0	0.5583	0.4229	0.0188	
3	0	0	0.9233	0.0767	
2	0	0	0	1	
1					

推計ソフトを用いた¹⁵⁾。このソフトは、点検調査年月日及び損傷度を推計に必要なデータとし、ハザードモデルにより橋梁部材の劣化推移確率を推計でき

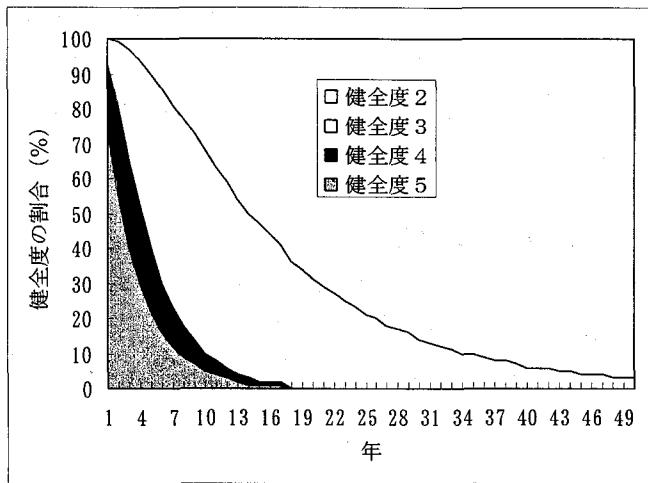


図-6 損傷の推移（時系列）

るインターフェースを搭載している。このように推計した結果は、離散的な健全度間の推移確率行列として導出される。ただし、ハザードモデルによる劣化推移確率の推計は、ある程度の点検データの蓄積を前提としており、点検データが蓄積されていない部材については、本モデルによって推計することはできない。

状態推移確率を表-4に、劣化予測結果を図-6に示す。

(5) LCC の試算

本研究では A 橋を例に、前項で取り上げた 3 つの計算方法により求めた最適維持更新シナリオを比較する。本研究では、A 橋の劣化を確率推移行列で表現し、劣化の不確実性を考慮している。そのため、将来予測を実施する場合には確定的な予測を行うことができず、期待値による評価になる。ここでは、議論を簡単にするために、確率推移行列に対して平均的な劣化速度を与え、この劣化速度に基づいて LCC を計算し、最適解の違いを比較する。

表-4 で示される確率推移行列の平均的な劣化速度を求め、劣化曲線を作成した。平均的劣化速度の算出方法は、表-3において 1 ランク下がる確率が何年目で 50%を超えるか、すなわち、同じ状態でいる確率が何年目で 50%未満になるかで決定した。例えば、OK から OK にとどまる確率は年 0.7394 であり、2 年目には $0.7394 \times 0.7394 = 0.5467$ 、3 年目は 0.4042 で、3 年目で 0.5 未満になる。よって、OK から 4 に到る経年数を 3 年とした。同じように、健全度 4 の場合は 4 から 4 にとどまる確率は年 0.5583 で

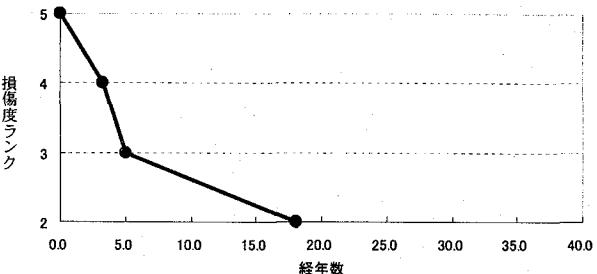


図-7 平均的な劣化曲線

表-5 対策工と対策費用

対策工	対策費用(千円)
表面被覆	13
ひび割れ注入	35
鋼板接着	80

表-6 LCC比較

	累積費用法	平均費用法	割引現在価値法
ケース 1	1,225,000	10,294	245,355
ケース 2	1,840,000	15,686	361,281
ケース 3	2,800,000	24,306	461,098

表-7 対策工と対策費用

	累積費用法	平均費用法	割引現在価値法
ケース 1	245,000	2,574	49,665
ケース 2	320,000	3,922	65,265
ケース 3	350,000	6,076	40,818

表-8 対策工と対策費用

	計算期間	
	40年	100年
ケース 1	39,000	245,000
ケース 2	70,000	320,000
ケース 3	0	160,000

であるので、2 年目には $0.5583 \times 0.5583 = 0.3117$ となり、2 年目で 0.5 未満になる。よって、4 から 3 に到る経年数を 2 年（累計で 5 年）とした。

ここで、縦軸の損傷度は表-1 の OK が 5 に、IV が 4 に、III が 3 に、II が 2 にそれぞれ対応している。また、経年数の初期時点では全てが損傷度 5 (OK) であると仮定している。結果を図-7 に示す。また、対策工を表-5 に示す。表-5 に示す各健全度での選定対策工と費用は、これまでの RC 床版の施工実績をもとにして、最もよく使われている工法と標準的工費を選定した。

次の 3 つのケースについて、累積費用法、割引現在価値法、平均費用法による LCC 比較を行う。

ケース 1

健全度 4 で表面被覆工を実施する。

ケース 2

健全度 3 でひび割れ注入工を実施する。

ケース 3

健全度 2 で鋼版接着工を実施する。

簡単のために、対策を実施した後は健全度が OK に回復し、対策後も対策前と同じ劣化過程をたどる仮定する。累積費用法による LCC 計算では、計算期間を 100 年とする。

計算結果を表-6 に示す。

この結果からは、どの計算方法を採用しても導き出される最適解は同じである。これは、劣化速度が速く、割引による将来費用の圧縮効果が少ないためと考えられる。仮に劣化速度が $1/3$ に低下し、劣化進行が遅くなったとすると、表-7 に示す結果となり、割引現在価値法による最適解は、他の 2 つの LCC 計算方法による最適解と異なる。これは劣化速度が遅くなるために、割引率による将来費用の圧縮効果が現れていることが考えられる。

一方、累積費用法の計算期間を 100 年から 40 年に変化させて計算をすると、表-8 に示すように、計算期間を 40 年にした場合には最適解が変わる。

(6) 考察

(5)における問題点は以下の 2 点である。

- ①割引率を考慮するか、しないかで、導き出される最適解が異なる。
- ②累積費用法では計算期間を変化させると最適解が異なる。

割引率を考慮するか、しないかについては小林¹⁶⁾が議論している。ある一定の条件では割引率を用いず、平均費用法で LCC 評価してもよいとしているが、財源の効率的な執行のためには割引率による経済評価が必要としている。特に社会資本の機能向上や役割の変化が予定されている場合には、LCC 評価において割引率を考慮する必要がある。

計算期間を変化させると最適解が変わることについては、計算期間終了時期の残存価値を考慮することで解消できると考えられる。例えば、計算期間終了時点での健全度と同じにするような費用を LCC に追加することで計算期間が変わっても同じ条件での比較が可能となる。具体的には、計算期間終了時点での健全度が低い状態であれば最もよい状態に戻す

ためにかなりの費用が必要となるし、計算期間終了時点での健全度が高い状態ならば、最も良い状態に戻すためには少しの費用ですむことになる。この費用を LCC に付加させるわけである。

4. 最適維持管理戦略

(1) 予算シミュレーション

効率的・効果的な維持管理を実施するためには、明確な維持管理方針をたて、長期計画に基づいて毎年度の予算計画を策定し、維持管理を実施していくことが考えられる。

理想的な維持管理シナリオとしては、施設全体の LCC が最小になるような戦略を採用することが望ましい。施設ごとの現況における健全度や劣化速度の違い等が原因となり、最適戦略を採用した場合に、年次ごとの補修予算が一定になる保証はない。むしろ、各年度の補修費用は、経年的に変動する可能性が高い。その結果、ある年次には補修箇所が多く、予算が多くなり、またある年には、補修箇所が少ないために、予算も少なくなることが起こりえる。予算が潤沢にある場合には、補修費用が多くなっても、十分に対応できるため、LCC が最小となるように予算計画を策定すればよい。しかし、予算が潤沢にある場合というのは非現実的と考えてよい。現実には、予算制約が存在するために、LCC が最小となるタイミングで補修を実施できず、最適なタイミングから補修を繰り延べられる。したがって、複数の予算シナリオを設定し、予算シミュレーションを行うことによって、予算制約下における最適な維持管理戦略を策定することが可能となる。

本研究では A 橋を対象に予算シミュレーションを実施する。複数の予算シナリオを設定し、シミュレーションの結果を比較する。

(2) 最適維持管理戦略

A 橋の維持管理問題を対象として、サービス水準とシナリオ、必要予算に関するシミュレーションを実施する。試算では「新都市社会技術融合創造研究会：インフラ資産評価・管理の最適化に関する研究プロジェクト」で開発された予算シミュレーションソフトを用いた¹⁵⁾。このソフトは、管理者が橋梁システム全体を管理する上で、維持管理方針や課され

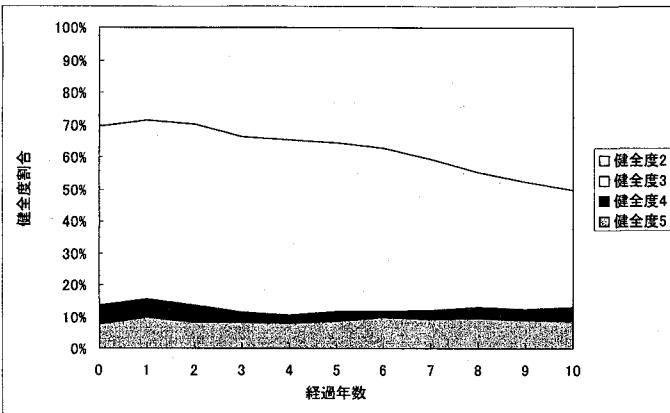


図-8 健全度の推移(500万円)

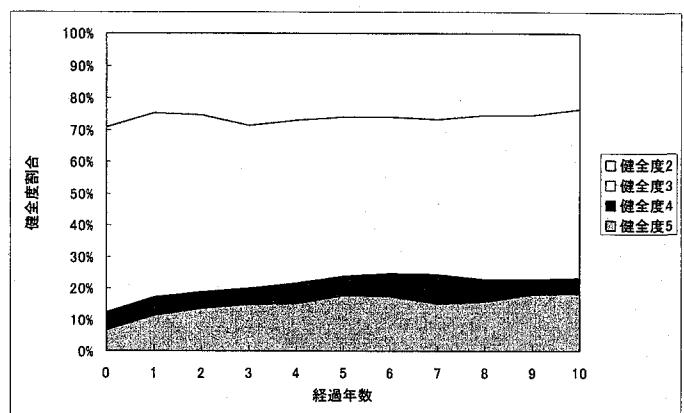


図-10 健全度の推移(1,000万円)

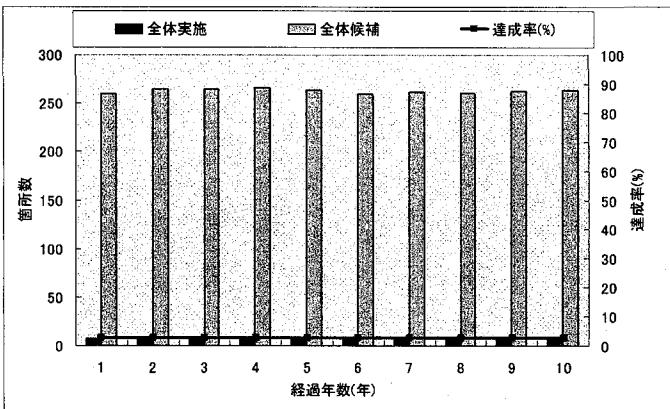


図-9 補修対象箇所と達成率(500万円)

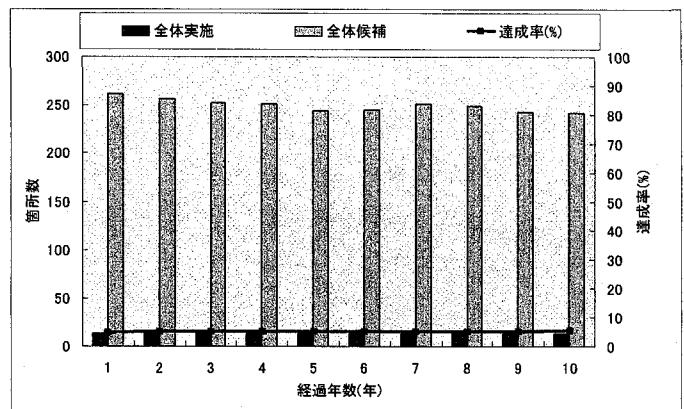


図-11 補修対象箇所と達成率(1,000万円)

得る制約条件を反映させて、長期的な橋梁システム全体の劣化・補修シミュレーションを行うことのできる機能を搭載している。制約条件（予算制約・状態制約），構成部材の各々の代表的な損傷とその補修戦略，シミュレーションの実行過程における補修順位の選定方法，モンテカルロ法によるシミュレーション試行回数，試行年数を設定することで、長期的な維持管理計画立案のためのアウトプットが提供される。

3. で実施したライフサイクル期間と割引率の設定をこの最適維持管理戦略でも反映させるべく、ここでは割引現在価値法を用いて計算を行う。

修繕対象となる健全度レベルは特に設定せず、健全度が悪い箇所を優先的に予算に応じて補修していくという考え方である。したがって、例えば健全度レベルを3以上にするという固定した維持管理シナリオではなく、予算に応じて健全度が悪い状態から順に補修していく、すなわち、いくらの予算が必要か

というシミュレーションである。予算が潤沢にあれば健全度がすべて5となるような状態もありうるし、予算が少なければ補修の積み残しが累積され、平均の健全度も悪くなるというシナリオが導き出される。

ここで、達成率の定義は、修繕対象箇所数に対する実施箇所数の割合である。

試算の前提条件として、予算制約を考慮する。計算期間は10年間とし、この間では、毎年次の予算制約は一定額とする。毎年の予算は必ず使い切ることとする。A橋の床版を複数の要素に分割し、要素ごとに独立に補修を実施することとする。補修に際して、交通規制等による渋滞や迂回が発生しないと仮定し、社会的費用は発生しないこととする。補修方法は表-5に準じることとする。健全度が悪い箇所が優先的に補修されると仮定する。

設定した予算シナリオは1) 年間予算が500万円、2) 1,000万円、3) 5,000万円の3通りである。

図-8～図-13に3つの予算シナリオを採用し

た場合、シミュレーションで求めた健全度の推移パターンと、各年次における補修対象箇所数と補修実施箇所及び修繕率の推移パターンを示している。予算が年間 500 万円の場合には、補修の達成率が 3% 程度に留まり、健全度も時間の経過とともに悪くなる傾向にあり、A 橋を適切に管理するためには予算が不足している。予算が 1,000 万円の場合には、健全度の推移は安定しているものの、補修の達成率は 5%程度に留まる。比較的健全度の低い状態で安定する。予算が 5,000 万円ある場合には、健全度が回復し、補修の達成率も 3 年目以降に 100% に達する。

(3) 考察

上記の 3 つの予算シナリオにおいて、予算が 500 万円の場合を除いて、2 つのシナリオではいずれも A 橋の床版を安定して維持管理することが出来る。予算が 1,000 万円の場合には、健全度の推移は安定しているものの、健全度は低い状態で推移している。一方、予算が 5,000 万円の場合には、健全度が高い状態で推移している。どちらの予算シナリオが適切かについては、A 橋の管理主体の維持管理に対する考え方によって変わると考えられる。

たとえば、A 橋が有料道路に架かる橋梁である場合、管理主体は料金収入にみあったサービス水準を道路利用者に提供する必要があるため、高めのサービス水準を維持しようとすることが考えられる。

そのような場合には、予算が 5,000 万円のほうが料金収入にみあった予算シナリオとなり、これが最適維持管理戦略となるであろう。一方、A 橋が料金収入のない一般道にかかる橋梁であれば、管理主体は多少サービス水準を犠牲にしても補修費用が安価な予算シナリオ 1,000 万円を選択する可能性がある。実際には A 橋は直轄国道にかかっており、料金収入はないものの、緊急時に交通を確保する必要性があることから、サービス水準を下げるることは適切でない可能性が考えられる。最終的には管理主体の財政状態等を総合的に評価し、適切な予算シナリオに基づいて維持管理が実施される。

5. おわりに

本研究では、LCC 計算における計算期間と割引率というパラメータの影響を把握するために、計算期

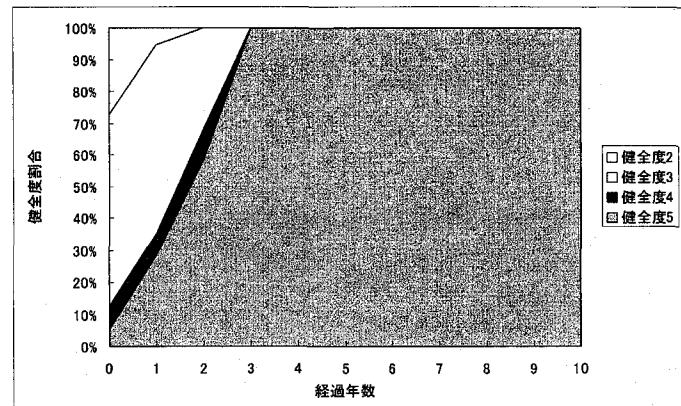


図-1-2 健全度の推移(5,000 万円)

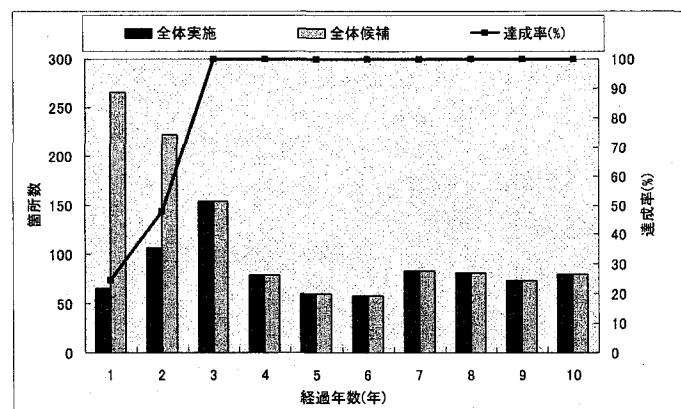


図-1-3 補修対象箇所と達成率(5,000 万円)

間、割引率、維持管理シナリオの組み合わせより LCC を試算した。試算の対象とした構造物は、直轄国道の鋼上部工において補修頻度の高い RC 床版である。状態推移確率は過去の点検結果から算定した。パラメータを変えると当然、LCC は異なる結果となる。維持管理シナリオを選定する際の指標となる LCC にも、計算期間や割引率の統一した考え方が必要であることはいうまでもない。さらに、複数の予算シナリオを設定し、予算シミュレーションを行うことによって、予算制約下において LCC が最小となる最適な維持管理戦略を策定することが可能となることを示した。

自治体では 2007 年度から国の補助をうけて、橋梁維持管理計画策定にむけて動き出す。維持管理計画策定においては、劣化予測、LCC 算定、維持管理シナリオの設定、予算シミュレーションなどを実施しなければならない。本研究の成果を用いて維持管理計画策定下での実証的な適用などを蓄積していくことが今後の研究の発展につながると期待できる。

今後の課題は、以下のとおりである。まず第1に、橋梁には様々な部材があり、本研究で対象としたRC床版以外の塗装塗替え、腐食、伸縮装置、支承など、複数の部材を組み合わせて、予算制約下でのシミュレーションを実施することで、必要な予算規模、優先すべき補修部材の選定が可能となることを示す必要がある。第2に、管理する橋梁システム群は多数の橋梁、部材で構成されるため、個々の部材間の劣化・補修の関係あるいは複合劣化などを無視できないケースも発生しうる。本研究ではRC床版のみを対象としたが、複数の橋梁や複数の部材の補修時期を互いに調整し、同時に補修することでコストが最小となるような補修同期化ルールを決定するシステムの開発が必要である。

【参考文献】

- 1) 産経新聞, 2007.2.5.
- 2) 貝戸清之, 保田敬一, 小林潔司, 大和田慶: 平均費用法に基づいた橋梁部材の最適補修戦略, 土木学会論文集, No.801/I-73, 83-96, 2005.
- 3) 国土交通省道路局: 「道路構造物の今後の管理・更新のあり方」に関する提言, 2003.4.
- 4) 山上裕也, 松下博通, 佐川康貴, 上村裕二: ライフサイクルコスト(LCC)試算で用いられる割引率に関する検討, 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, Vol.58, CS1-031, pp.61-62, 2003.
- 5) 上村裕二, 松下博通, 佐川康貴, 山上裕也: 塩害を受ける道路橋のライフサイクルコスト(LCC)評価に関する検討, 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, Vol.58, CS1-034, pp.67-68, 2003.
- 6) 首藤 諭, 杉本博之, 渡辺忠朋, 後藤 晃, 田村亨: UCを考慮した橋梁のLCCに対する供用年数と割引率の関係, 土木学会第56回年次学術講演会講演概要集, Vol.56, I-B132, pp.264-265, 2001.
- 7) 白武知浩, 松下博通, 鶴田浩章, 佐川康貴: 維持管理手法の違いがコンクリート道路橋のLCC評価に及ぼす影響, 土木学会第60回年次学術講演会講演概要集, Vol.60, 5-199, pp.397-398, 2005.
- 8) 栗野盛光, 小林潔司, 渡辺晴彦: 不確実性下における最適補修投資ルール, 土木学会論文集, No.667/IV-50, pp.1-14, 2001.
- 9) 田村謙介, 小林潔司: 不確実性下における道路舗装の修繕ルールに関する研究, 土木計画学研究・論文集, No.18(1), pp.97-107, 2001.
- 10) 田村謙介, 慈道充, 小林潔司: 予算制約を考慮した道路舗装の修繕ルール, 土木計画学研究・論文集, No.19(1), pp.71-82, 2002.
- 11) 保田敬一, 小林潔司: BMSにおける点検結果と状態推移確率がLCCに及ぼす影響, 土木学会, 建設マネジメント研究論文集, Vol.11, pp.111-122, 2004-12.
- 12) 土木学会メインテナンス工学連合小委員会: 社会基盤メインテナンス工学, 東京大学出版会, 2004.3.
- 13) 建設省土木研究所: 橋梁点検要領(案), 1988-7.
- 14) (財)道路保全技術センター: 橋梁点検・補修の手引き【近畿地方整備局版】, 2001-7.
- 15) <http://psa2.kuciv.kyoto-u.ac.jp/bms/index.html>
- 16) 小林潔司: 分権的ライフサイクル費用評価と集計的効率性, 土木学会論文集, No.793/IV-68, pp.59-71, 2005.

The influence of life cycle and discount rate to the LCC in bridges

By Keiichi YASUDA, Mitsuru JIDO and Kiyoshi KOBAYASHI

It is important that we decide a maintenance scenario of a bridge. It is often that it is determined an LCC minimization model to adopt a calculated maintenance scenario. When we calculate LCC, we cannot ignore the influence that a parameter gives a result. For a parameter, it is a deterioration prediction model to calculate from a state transition probability, a life cycle, discount rate. In this study, we show about a life cycle period and discount rate. An object is for an expensive steel reinforced concrete slab of repair frequency in steel superstructure of a national road. We calculate the influence that a difference of a life

cycle and discount rate to set give LCC as a test every maintenance scenario. In addition, support to decide the maintenance scenario that LCC becomes minimization by performing the budget simulation that considered budget limitation shows that it is possible.