

PC 道路橋のライフサイクルコスト評価

中谷 昌一*1・廣松 新*2

1. はじめに

ライフサイクルコスト (Life-Cycle-Cost, 以下 LCC) という言葉は、一昔前には一種の専門用語であったが、ここ数年でかなり一般的になった。国土交通省においても、総合的なコスト削減の推進に向けた基本的視点の一つとして、「施設の耐久性向上による LCC の低減」があげられている¹⁾。また、試験的に実施されている「総合評価落札方式」においても評価項目の一つとして、LCC が採用されている²⁾。

道路橋においても、各方面での研究開発の結果、LCC の概念は広まりつつある。しかしながら、その普及は未だ十分でなく、「聞いたことはあるが、よくわからない」、「何となくうさんくさい」、などという意見をよく耳にする。

本稿では、PC 道路橋の LCC に関する現状と課題に関して、その概要を理解していただくことを目的に、道路橋の LCC について簡単に解説するとともに、建設省土木研究所 (当時) および国土交通省国土技術政策総合研究所 (以下、国総研) 橋梁研究室における最近の LCC に関する取組み事例を紹介する。

2. LCC とは何か?

(1) 国総研橋梁研究室における LCC の定義

LCC は、その対象や用途に応じて定義および解釈がさまざまであり、個々人の認識の違いも大きい。そのため、LCC を明確かつ一意的に定義することは難しい。

LCC を直訳すれば「生涯費用」であり、一般には、あるプロジェクトにおける、企画→設計→製作 (橋の場合は建設) →維持管理→解体→廃棄までの費用の総和であり、場合によってはそれに更新の費用が加わる。筆者の所属する研究室では、LCC を以下のように定義し、更新コストまで

含めることとしている。

$$LCC = I + M + R$$

ここに、LCC：ライフサイクルコスト

I：初期建設コスト

M：維持管理コスト

R：更新コスト

道路橋においては、上記の I, M, R の中では、R が最大で、一般に I の 3 倍といわれている。従って、LCC を小さくするためには、R を小さくすること、いいかえれば寿命を延ばすことがもっとも有効である。寿命を長くすることは、更新の平準化にもつながる。

(2) 道路橋における LCC 導入の背景

道路橋の分野で、LCC の概念が登場した背景には、道路橋ストックの増大と高齢化がある。現在、日本には橋長 15 m 以上のものだけで約 14 万の道路橋があり、約 40% にあたる約 52 000 橋が PC 道路橋である³⁾。この 52 000 という数は、全国のコンビニエンスストアの数である約 42 000 (2001 年度、日本経済新聞調査による) より多く、全国の小学校数の約 2 倍、本協会の個人正会員数の約 14 倍である。

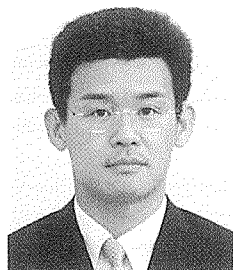
2020 年頃には、1970 年代の高度成長期に集中的に建設された、道路橋の「団塊世代」が、供用後 50 年を超えるため、これらの橋の維持管理負担が膨大となることが予想される。このような厳しい状況下で、次世代負担を最小化するための有力な手段として提案されたのが LCC の概念である。また、LCC を考慮した意志決定を行うことで、より広範に説明責任を果たすことができると考えられる。

(3) PC 道路橋における LCC の具体例

PC 道路橋における LCC の具体例として、昭和 40 (1965) 年に建設され、平成 11 (1999) 年に撤去された、旧暮坪陸橋の事例を紹介する。この橋は、漁港の出口をまたぐ、いわゆる飛沫帯に位置しており、建設後早期から塩害による損傷が発生し、度重なる補修を重ねた結果、最終的には架替えにいたったものである⁴⁾。

表 - 1 に、旧暮坪陸橋における、新設から架替えまでの主要支出額の内訳を示す⁵⁾。旧橋の建設費用が I、新橋建設費用と旧橋撤去費用が R、その他の費用が M に対応する。

図 - 1 は、表 - 1 を図化したものであり、横軸は架設年次からの年数、縦軸はその時点での累積支出額を表している。一般には、このような右肩上がりの階段が LCC の表現手段として用いられる。表 - 1 および図 - 1 においては、当時の金額をそのまま計上しているため、デフレーターを考慮した場合と比較して旧橋の建設費用が相対的に小さい値となること、旧橋と新橋では、橋長等が異なっており、純粋な架



*1 Shiochi NAKATANI

国土交通省国土技術政策総合研究所 道路研究部 橋梁研究室 室長



*2 Arata HIROMATSU

国土交通省国土技術政策総合研究所 道路研究部 橋梁研究室 研究官

表 - 1 旧暮坪陸橋における主要支出額⁵⁾

単位：百万円					
年度	西暦	工法	支出額	累積支出額	I,M,Rの区分
昭和 40	1965	旧橋建設	85	85	I
昭和 56	1981	耐荷力調査	1	86	M
			10	96	M
昭和 57	1982	修復+表面塗装	25	121	M
昭和 58	1983	表面塗装	41	162	M
昭和 59	1984	耐荷力調査	5	167	M
		表面塗装	35	202	M
昭和 62	1987	床版防水工	3	205	M
平成 3	1991	修復	30	235	M
		中間支柱・受桁	43	278	M
平成 4	1992	外ケーブル	14	292	M
		耐荷力調査	5	297	M
		監視機器装置	15	312	M
		修復+表面塗装	10	322	M
平成 4～9	1992～97	監視システムメンテナンス	6	328	M
平成 5	1993	修復+表面塗装	24	352	M
平成 9	1997	再建設費	485	837	R
平成 11	1999	旧橋撤去	255	1092	R

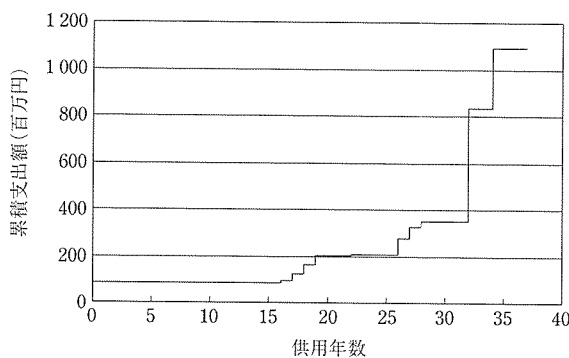


図 - 1 旧暮坪陸橋のライフサイクルコスト

替えではないこと等に注意が必要である。それらを考慮しても、初期建設コストと比較して、維持管理および更新に大きなコストがかけられていることがわかる。

3. LCC を用いた経済評価の現状と課題

(1) LCC 評価を困難にする要因

前章では、実橋での LCC 事例を紹介したが、今後 LCC を活用する方法としては、将来における LCC を計算・評価し、投資の意志決定の参考にする場合が主となる。

LCC 評価を要約すれば「コスト評価の指標として LCC を採用し、LCC が小さい案を優れた案として評価する」といえる。ここまでは簡単であるが、いざ道路橋で LCC 評価を行うとなると、とたんに話が難しくなる。以下は筆者の個人的見解であるが、道路橋の LCC 評価を難しくしている要因は以下の 2 点である。

- ① LCC の算出・評価の前提条件が不明確であること。
- ② 耐久性に関する諸数値の設定が困難であること。

以下、これらの点に関して現状と課題を簡単に述べる。

(2) LCC の算出および評価の前提条件

LCC の算出・評価を行う際には、種々の前提条件、いわ

ば算出ルールが必要となるが、これらに関しては、現時点では確立されていない。ここでは、前提条件の中で最低限理解しておくべき事項について説明する。

1) 内部コストと外部コスト

LCC に含まれるコストは、内部コストと外部コストに大別できる。内部コストとは、活動主体が直接支払うコストであり、外部コストとは経済社会活動の結果として生じる不利益で、活動主体が負担せず他者が負担するものである。先ほど紹介した旧暮坪陸橋の事例は、内部コストのみを計上したものである。

図 - 2 に、土木構造物におけるライフサイクルを通じた外部コストと内部コストの概念図を示す。道路橋に関係した外部コストとして馴染み深いものとしては、工事に伴う渋滞や迂回による経済損失があげられる。床版の補修などで、「交通を開放した状態」での工事が要求されるのは、この経済損失を最小限にするためである。

一般には、外部コストを考慮することで、内部コストのみを考慮する場合と比較して、より総合的な観点から判断を下すことが可能となり、広範に説明責任を果たすことができる。

しかしながら、道路橋に関する外部コストとして計上すべき項目およびその算出手法については、数多くの提案がなされているものの、一般化されるまでにはいたっていない。また、現在提案されている外部コスト評価手法を道路橋に適用した場合、利用者の時間損失に伴う経済損失が支配的となる可能性が指摘されている。そのため、現時点での道路橋の LCC 算出評価手法としては、基本的には内部コストを計上して、プラス（あるいはマイナス） α として外部コストの要素を評価するという事例が多い。

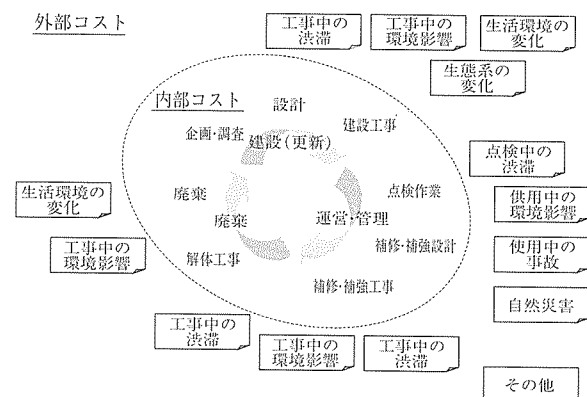


図 - 2 ライフサイクルを通じた内部コストと外部コスト

2) LCC 分析期間

LCC を考える際には、どのくらい先まで考慮した評価を行うか、すなわち LCC 分析期間の設定が重要である。道路橋分野では、分析期間に関する明確な規定はないが、一般には、対象とするプロジェクトの寿命や社会情勢の変化等を考慮した上で、「十分長い期間」を設定するのが妥当と考える。道路橋の場合は、これまで一般に寿命が 50 年程度といわれてきたので、長寿命化による更新コストの低減効果を LCC に反映させるためにも、100 年以上の期間を設定す

るのがよいと考える。

ただし、後述するように、社会的割引率の設定次第で、分析期間の長短の及ぼす影響の度合いが異なるため、LCC分析期間は社会的割引率とセットで考えるべきである。

3) 社会的割引率

LCCを算出する際には、費用が長期間にわたって発生するため、各年のコストを一つの時点における価値に換算する必要がある。社会的割引率はこの換算に用いられる値で、将来の費用を現在価値に割り引く率である。

「道路投資の評価に関する指針(案)」⁶⁾では、評価期間40年と合わせて、この割引率を4%と設定している。これは、現在価値に割引いた費用は、40年を越えるときわめて小さくなることを考慮して設定されたものである。

道路橋のように40年を越えて長期にその供用を期待するものについて、将来のコストを割引計算をすると、遠い将来のものは非常に小さく算定されることに注意が必要である。

4) LCC分析期間と社会的割引率の及ぼす影響例

ここで、先ほど紹介したLCC分析期間と社会的割引率の及ぼす影響に関して、具体的なケースを想定して説明する。今、A、Bの2案についてLCC分析を行うものとする。A案は60年ごとに更新するケースを、B案は100年ごとに更新を行うが、耐久性を向上させるために初期建設コストがA案と比較して若干上昇したものを想定している。図-3は、社会的割引率を0%と設定した場合であり、図-4は、図-3と同条件で、社会的割引率を4%と設定したものである。なお、図中の縦軸はA案における初期建設コストを1としたときの比率を表している。

図-3において、分析期間を0年とすれば、初期建設コストIの比較となり、A案が優れているといえる。分析期間が30年ならばA案が優れており、60年ならばB案が優

れているといえる。

一方、図-4においては、分析期間をどのように設定しても、A案の方が優れているという結果になる。これは、将来に発生する費用に関しては、現在価値に割り引かれるため、初期建設コストの影響が相対的に大きくなるためである。具体的には、社会的割引率を4%とした場合、40年後の1000円は、現在の208円と同値となる。

以上のように、分析期間と社会的割引率を変動させることでLCC評価は大きく変わる。これに加えて、前述の外部コストの計上方法によってもLCC評価は大きく影響を受ける。したがって、実際にLCCを投資の意思決定の参考にするためには、これらの値を適切に定めることが非常に重要となる。

(2) 耐久性に関する諸数値の設定方法

道路橋のLCC算出のためには、橋、もしくは橋を構成する各部材が、何年後にどのような状態になるかを正確に予想する必要があり、この予想を行うためには耐久性を定量的に評価することが必要である。逆にいえば、耐久性の定量的評価なしに意味のあるLCCを算出することはできない。

近年の「建設の時代」から「維持管理の時代」の動きに合わせて、道路橋に関する研究開発テーマも従来の「耐荷力」から「耐久性」へとその重心が動きつつあり、耐久性評価に関する研究開発が盛んに行われている。

しかしながら、実際の計画、設計および維持管理の現場で耐久性評価を行う際には、公平性・中立性・客観性が求められる上に、実績がないものや本質的なバラツキをどのように評価するかなど、多くの課題が残されている。

また、意味のあるLCC算出を行うためには、維持管理の水準をどこに設定するか、点検をいつ行うかといった、維持管理シナリオの設定が必要である。一方、維持管理シナリオを設定する際には、LCCを考慮した合理的なシナリオとしなければならない。すなわち、LCCと維持管理シナリオはセットで考えるべきものであることを強調しておく。

5. 橋梁研究室におけるLCCに関する取組

国総研橋梁研究室では、道路橋のLCCに関する研究や耐久性向上策、維持管理のあり方等について各種調査研究を実施している。ここでは、LCCと関連する事例について紹介する。

(1) ミニмумメンテナンス橋に関する検討

建設省土木研究所橋梁研究室(当時)では、LCC最小化を目指して「最小限の維持管理で最大限の長寿命化」をコンセプトにしたミニмумメンテナンス橋を提案し、鋼桁橋におけるプロトタイプを提案した。また、当時の標準的な橋とミニмумメンテナンス橋の建設後200年間のLCCを試算した。図-5に、プロトタイプの例を示す。

コンクリート橋に関しても、国総研橋梁研究室、土木研究所構造物マネジメントチーム(旧コンクリート研究室)、および(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会共同研究「ミニмумメンテナンスPC橋の開発に関する共同研究」(平成11~13年度)の中で、ミニмумメンテナンス

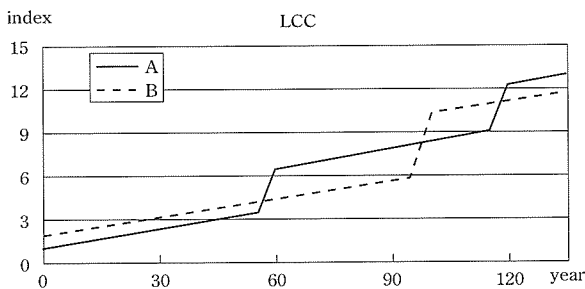


図-3 LCCの比較(社会的割引率:0%)

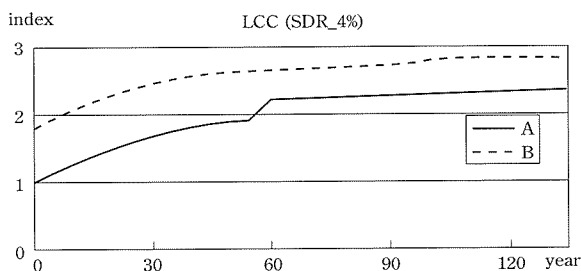


図-4 LCCの比較(社会的割引率:4%)

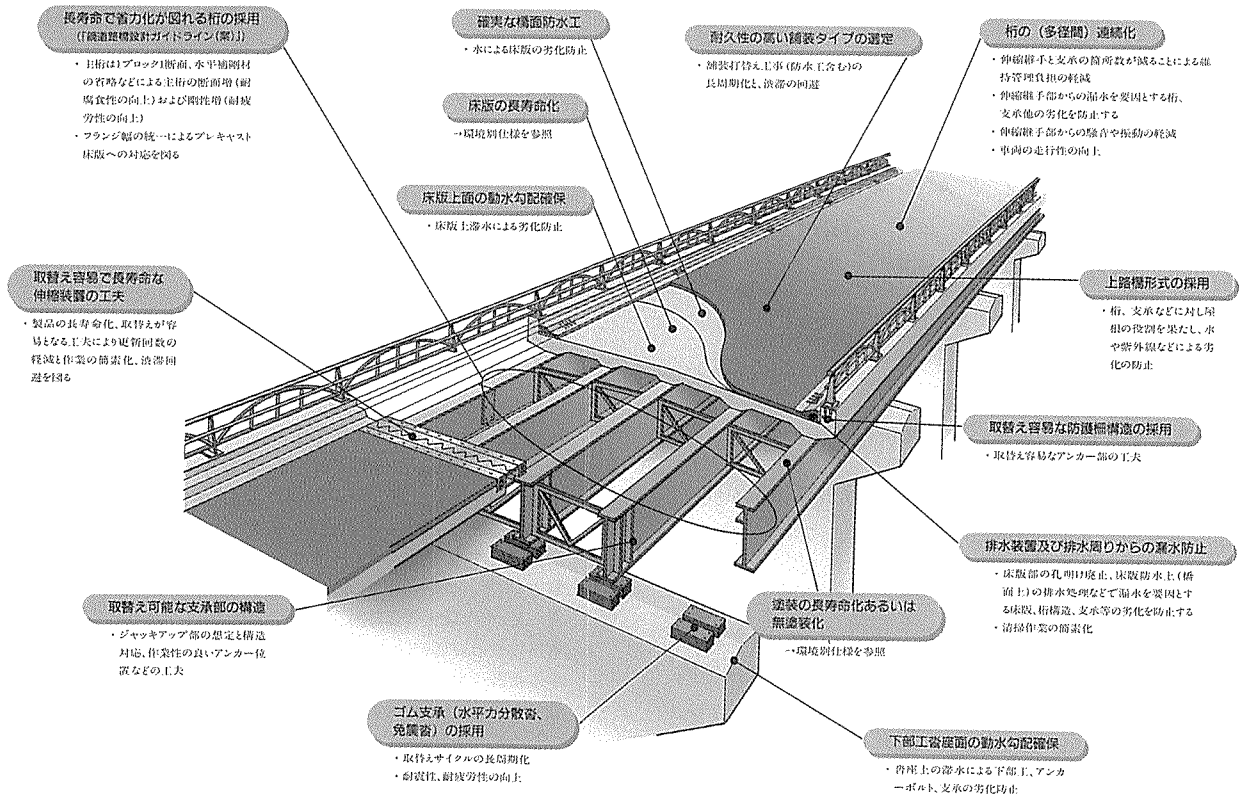


図-5 ミニмумメンテナンス橋のプロトタイプ

PC 橋、PC 橋の LCC 算出手法、塩害対策手法の検討を実施した。

ミニмумメンテナンス PC 橋に関しては、PC 橋の特性を考慮した上で、要求される条件や、耐久性上弱点とならないような適切な細部構造の提案等を行った。図-6 に、ミニмумメンテナンス PC 橋における適切な細部構造の例を示す。

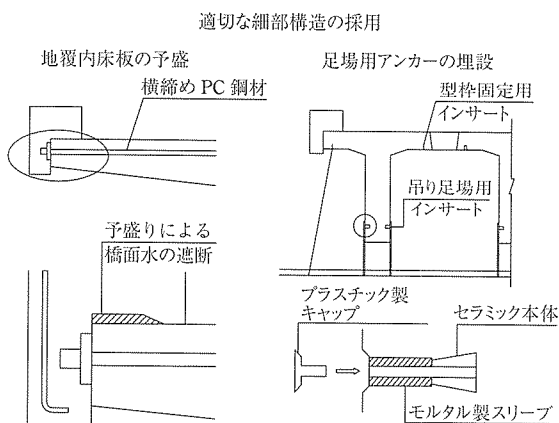


図-6 ミニмумメンテナンス PC 橋における細部構造の例

上記共同研究における、塩害対策に関する研究成果は、平成 13 年 12 月に改訂された道路橋示方書の塩害対策規定に反映された。具体的には、目標とする年数を 100 年とし

た上で、「道路橋の塩害対策指針(案)」(昭和 59(1984)年通達)の規定内容を一部強化する形で、対策区分の一部変更と、対策区分 S の新設が行われた。対策区分 S においては、かぶりのみの対策では十分な耐久性を確保できないため、塗装鋼材またはコンクリート塗装の実施を行うこととしている。改訂の詳細については、文献 7) 等を参照いただきたい。

また、上記の共同研究と連動する形で、平成 11~12 年度の建設省技術研究会指定課題「コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究」において、コンクリート橋の維持管理費および撤去費の実態とその背景となる損傷実態や維持管理実態を把握することを目的に、各種の実態調査を行った。冒頭で紹介した、旧暮坪陸橋の LCC データは、その成果の一部である。

(2) 道路管理データベースの活用

前述したように、LCC を算出・評価するためには、耐久性の定量的な評価が不可欠であり、定量的評価を行うためには、維持管理に関するデータの充実と活用が重要である。橋梁研究室では、国土交通省所有の道路管理データベースを活用し、実橋での補修履歴を用いて、各種分析を実施している。ここでは、一例として、ジョイントの分析事例について紹介する。

図-7 は、荷重支持式のゴムジョイント形式のデータに関して、大型車 24 時間交通量による影響を分析したものである。大型車交通量が多い場合、補修にいたるまでの年数が短くなる傾向が見られた。

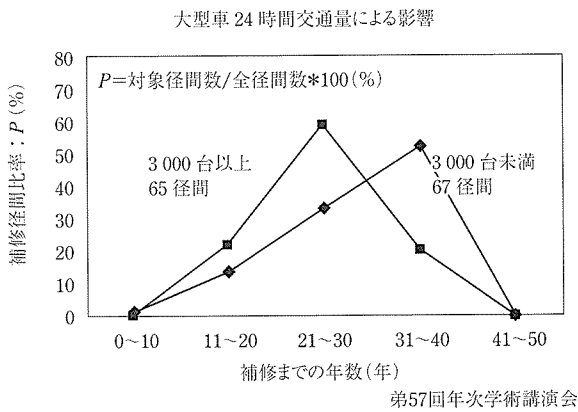


図-7 大型車交通量の影響 (荷重支持式ゴムジョイント)

これらのデータに関しては、現時点で分析可能な範囲で別途とりまとめる予定である。

6. おわりに

これまで述べたように、道路橋、とくに PC 道路橋の LCC に関する検討は開始されたばかりであり、将来本格的に活用するためには多くの課題が残されている。逆にいえば、研究開発の余地が大きく、やりがいのある分野ともい

える。本稿で紹介してきた LCC に関する各課題は、自分で試算してみると容易に理解できる。まずは、身近な橋の LCC を試算してはいかがだろうか。

最後になるが、LCC を用いた意志決定を行う目的は、次世代負担の最小化であり、決して算出手法を複雑化することや、某社の某工法を正当化することではない。LCC の数字ばかりを追いかけているうちに視野が狭くなり、本来の目的を忘れがちになるのでご注意願いたい。自戒の意味もこめて本稿の結びとさせていただきます。

参考文献

- 1) 国土交通省, 「平成 13 年度 国土交通白書」, 2002
- 2) 大槻他, 「総合評価落札方式の普及に向けた支援策の検討」, 土木技術資料 Vol.44, No.11, 2002.11
- 3) 国土交通省道路局, 「道路統計年報 2001」, 2001.10
- 4) 三浦, 西川, 見波他, 「募坪陸橋の塩害による損傷と対策」, 橋梁と基礎, 1993.11, 1993.12, 1994.1
- 5) 国土交通省他, 「コンクリート橋のライフサイクルコストに関する調査研究—コンクリート橋の損傷状況と維持管理費の実態調査—」, 土木研究所資料第 3811 号, 2001.3
- 6) 道路投資の評価に関する指針検討委員会編, 「道路投資の評価に関する指針 (案)」 1998.6
- 7) 橋梁委員会, 「道路橋示方書の改訂について」, 道路 Vol.734, 2002.4

【2002 年 12 月 18 日受付】