

海外における舗装のライフサイクルコスト算定手法の調査

堀内智司・若林由弥・渡邊一弘

1. はじめに

道路構造物を管理する国や地方公共団体等では人口減少や少子高齢化に伴う技術者不足や財政難が深刻化している。その中でも舗装は更新周期が短いうえストック量が膨大であるため、メンテナンスサイクルを確立し、長寿命化によるライフサイクルコスト（以下「LCC」という。）縮減を目指すことが喫緊の課題である。こうした中、平成24年度に「土木設計業務等共通仕様書（案）」が改定され、道路詳細設計においてLCC等を考慮して舗装種別を比較検討のうえで舗装の種類・構成を決定することが明記された。令和3年12月に前述の共通仕様書が改定され、舗装種別選定における具体的な手順及び留意点等を記載した「舗装種別選定の手引き（日本道路協会）」のチェックリスト等を活用することになり、LCCをより一層意識させる対応が行われている。令和4年度に社会資本整備審議会の道路技術小委員会では、舗装の技術基準の改定に向けた議論がキックオフされ、新技術の普及促進によって長寿命化を図るため、LCCを考慮した最適な設計手法の必要性が示されるなど、LCCの比較を強く意識する流れが加速している。

そこで、本稿では、我が国におけるLCCを考慮した舗装の設計手法の確立に向けて、海外におけるLCCの算定手法の最新の知見を収集するために実施した文献調査の結果について報告する。

2. 調査方法

各国の舗装設計マニュアルやLCC分析に関するマニュアル等について文献調査を行った。対象地域としては、マニュアル類が公開されるなど文献収集が可能であり、かつ、収集文献に表-1に示した、修繕間隔の設定方法などの必要情報が5項目以上記載されていた4地域（A：米国テキサス州、B：カナダオンタリオ州、C：英国イングラ

ンド、D：オーストラリア）を対象に選定し、それら地域のマニュアル^{1), 2), 3), 4)}を整理した。

3. 調査結果

文献調査の結果を以下の(1)～(6)に示す。

表-1 主な必要情報

①LCC算定期間
②道路管理者費用の設定
③舗装打換え／修繕間隔の設定方法
④LCC算出に使用する代表的な工法の設定
⑤道路利用者費用の算出方法
⑥沿道および地域社会の費用の算出方法
⑦割引率の設定：将来費用の現在価値への換算方法

表-2 LCC比較の実施状況・実施対象

地域	LCC比較の実施状況・実施対象
A:米国 テキサス州	<p>[実施状況]</p> <p>舗装新設・改修工事実施時に提出する舗装設計報告書内に、舗装LCC分析に基づく舗装種類の選定理由を明示し、州の「地区舗装技術者」(DPE)に設計の認可を受ける必要がある。建設後は、州が実装するソフトウェアに路線情報が記録され、各地区で劣化予測を含むネットワークレベルのLCC分析と維持管理計画の策定が行われる。</p> <p>[実施対象]</p> <p>10,000台以上の日交通量かつ大型車率30%以上の区間、または100,000台以上の日交通量の区間の新設・補修工事</p>
B:カナダ オンタリオ州	<p>[実施状況]</p> <p>オンタリオ州では、LCCが有利な舗装種類を選定するために、2車線5km以上の高速道路の新設・再建事業について、入札時にアスファルト舗装、コンクリート舗装2種類の入札書類の提出が必要な代案入札契約が導入され、舗装LCC分析が必須となっている。</p> <p>[実施対象]</p> <p>州内の高速道路、400系ハイウェイ[*]、交通量の多い道路（年間100万等価単軸荷重）の新設・再建工事</p>
C:英国 イングランド	<p>[実施状況]</p> <p>国道の舗装新設工事および既存道路の舗装拡幅工事実施時に提出する舗装設計報告書内に、イングランド独自の「WLC（Whole Life Cycle）分析」手法に基づく分析結果の記載義務がある。</p> <p>[実施対象]</p> <p>高速道路・幹線道路の車道新設・拡幅・改良・改築工事</p>
D:オーストラリア	<p>[実施状況]</p> <p>Austroadsはオーストラリア・ニュージーランドの道路運輸交通協会と、連邦政府の資金提供のもと、オーストラリア・ニュージーランド共通の舗装LCC関連マニュアル、舗装LCC分析の汎用ツールを作成、公開している。</p>

^{*}カナダオンタリオ州の高速道路網の一部。路線番号は400番台

(1) LCC比較の実施状況

LCC比較の実施状況等について表-2に示す。LCC比較は、例えば、米国テキサス州では1969年に導入され、オーストラリアでは1980年代に導入されて、現在に至っている。舗装種別の選定にあたって、多くの地域では、高速道路や幹線道路の新設・補修工事等のように対象地域を絞って、アスファルト舗装とコンクリート舗装などのLCC比較を実施していることがわかった。

また、多くの地域において、プロジェクトレベル（個別区間）のマニュアルが整備されていることがわかった。また、一部の地域ではネットワークレベル（道路網）でのマニュアルも示されていることがわかった。

(2) LCCの算定項目

舗装設計施工指針⁵⁾の付録の分類を参考にして一覧表に整理したものを表-3に示す。算定項目としては、調査対象地域で道路管理者費用を必須項目としている一方で、道路利用者費用や、沿道及び地域社会の費用については、具体的な算出方法を示したマニュアルを整備している地域があるものの、多くの地域で実務としては必須項目とされていないことがわかった。道路管理者費用における建設費用の算出方法としては、表-4に示すように、過去の入札結果や単価データベースから算出されている。

(3) LCCの算定期間

表-5に示すように、LCCの算定期間について、道路種類に応じて期間が異なる地域と、道路種類によらず一律としているものがみられた。算定期間

表-4 工事費用の算出方法

地域	工事費用の算出方法
米国 テキサス州	近年の類似事業の平均入札額を参考に見積り
カナダ オンタリオ州	州交通局の道路工事単価データベース（過去5年間の最低入札価格の平均値）から見積り
英国 イングランド	所在地の現行の単価データから見積り
オーストラリア	不明

表-5 LCCの算定期間

地域	LCC算定期間
米国 テキサス州	40年以上
カナダ オンタリオ州	高速道路、400系ハイウェイ：50年 コンクリート舗装：50年 高強度のたわみ性舗装：30年 その他のたわみ性舗装：20~25年
英国 イングランド	60年以上
オーストラリア	算定対象となる舗装の設計寿命以上 ※舗装LCCツールでは50年

表-6 代表的な工法 / 舗装打換え・修繕間隔の設定

地域	代表的な工法/舗装打換え・修繕間隔の設定
米国 テキサス州	・ たわみ性舗装と剛性舗装の比較を目的としているが、舗装構成や修繕工法については記載されていない ・ 修繕間隔は、州の実績データまたは対象地区の交通量が同等の10件以上の工事実績に基づいて設定 ・ 参考として1960~2021年までの州の実績データから、たわみ性舗装と剛性舗装の初回修繕時期、大規模修繕の実施サイクル、予防保全の実施サイクルを例示
カナダ オンタリオ州	・ 2種のアスファルト舗装とコンクリート舗装の平均的な耐用年数、修繕工法と修繕間隔を例示 ・ 平均耐用年数は、州高速道路の舗装修繕データ調査および舗装破損解析により算出
英国 イングランド	・ 舗装種類は舗装マニュアルの標準設計（半たわみ性舗装、連続鉄筋コンクリート舗装、転圧コンクリート舗装）から選択するが、このうち修繕工法と修繕間隔が具体的に例示されているのは転圧コンクリート舗装のみ ・ 修繕間隔は過去の修繕データや類似の材料性能を参考に設定
オーストラリア	・ PLCCDT を用いて、損傷の状況からアスファルト舗装の再シール、表層補修+再シール、維持対応/修繕+表層打換え、表層打換え、修繕、全層打換えの時期について自動算出可能 ・ 修繕工法と修繕間隔の設定根拠は示されていない

表-3 調査対象におけるLCC算定の実施項目

調査地域	調査文献における活用場面	道路管理者費用						道路利用者費用							沿道及び地域社会の費用		
		調査計画費用	建設費用	維持管理費用		修繕費用	関連行政費用	車両走行費用			時間損失費用			その他の費用	環境費用/便益(排水性舗装による効果等)	その他の費用	
				調査費、設計費	建設費、現場管理費			維持費	除雪費	補修・再建設費、廃棄処分費、現場管理費	広報費	工事規制区間を通行する際の車両走行費用	工事規制区間や渋滞区間による減速による車両走行費用				迂回に伴う車両走行費用
米国 テキサス州	プロジェクトレベル	●	●	●	-	●	-	○	○	○	-	○	○	-	-	-	○
	ネットワークレベル	-	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
カナダ オンタリオ州	プロジェクトレベル	-	●	-	-	●	-	○	○	-	○	○	-	-	-	※	-
英国 イングランド	プロジェクトレベル	-	●	●	-	●	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-
オーストラリア	不明	●	●	●	-	●	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-

【凡例】●：マニュアル等の資料ありかつLCC算出必須項目、○：マニュアル等の資料あり、※研究開発中

表-7 舗装の平均耐用年数

舗装種別	平均耐用年数	
	平均値	標準偏差
密粒度アスファルト舗装	19	3
補修工法	平均耐用年数	
初回切削ACオーバーレイ(80 mm)	12	2.8
2回目切削ACオーバーレイ(80 mm)	11	2.8
3回目切削ACオーバーレイ(80 mm)	10	2.8

間は様々であるものの、概ね40～60年程度であり、アスファルト舗装の平均寿命が約20年とすると設計期間の2～3倍程度がLCCの算定期間となっていると考えられる。

(4) 代表的な工法/舗装打換え・修繕間隔の設定

各種の費用が発生するタイミングとなる修繕サイクルは、LCC算定のうえで重要な要素でありながら、多様な供用条件によって異なるため、一律に設定することは困難である。一方、海外では、表-6に示すように、LCCの中で多くの割合を占める修繕費用を算出する際に必要となる修繕間隔の設定について、工法や舗装構成に応じた標準的な耐用年数を明示し、また、繰り返し修繕する場合には修繕間隔が短くなるように設定している場合やシール注入工法などの予防的な維持工法を組み込んだ修繕を設定している場合があることもわかった。

例えば、カナダオンタリオ州のガイドラインでは、図-1、図-2に示すように補修の推奨時期をタイムラインとして図化し、表-7に示すように補修工法の耐用年数が明示されている。図-1のアスファルト舗装では、修繕工法の切削オーバーレイの修繕間隔が19年⇒12年⇒11年⇒10年と短くなるように設定され、路盤以下の層における疲労の蓄積なども考慮していると考えられる。維持工法は、建設後3年目にシール注入を行い、9年目および

表-8 割引率の設定

地域	割引率の設定
米国 テキサス州	行政管理予算局の実質国債金利公表値を適用
カナダ オンタリオ州	財務省の最新の公表値を適用 5.3% (2005年時点)
英国 イングランド	最新の「The Green Book」(英国大蔵省)の公表値を適用
オーストラリア	7% (2016年時点)

表-9 LCC算定ツール

地域	舗装LCC算出ツール
米国 テキサス州	RealCost (FHWA)、Pavement Analyst™ (AgileAssets社製)
カナダ オンタリオ州	OPAC (University of Waterloo開発)
英国 イングランド	不明
オーストラリア	Pavement Life Cycle Cost Demonstration Tool (略称: PLCCDT、Austrroads)

15年目にシール注入や表面処理、切削、パッチングの実施が推奨されている。また、図-2の普通

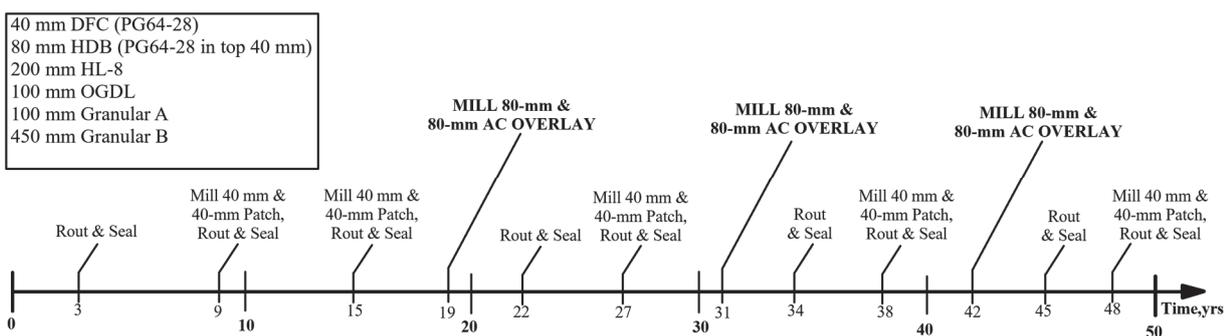


図-1 アスファルト舗装(密粒度)のLCC算定における補修時期の設定の例 (カナダオンタリオ州) 2)

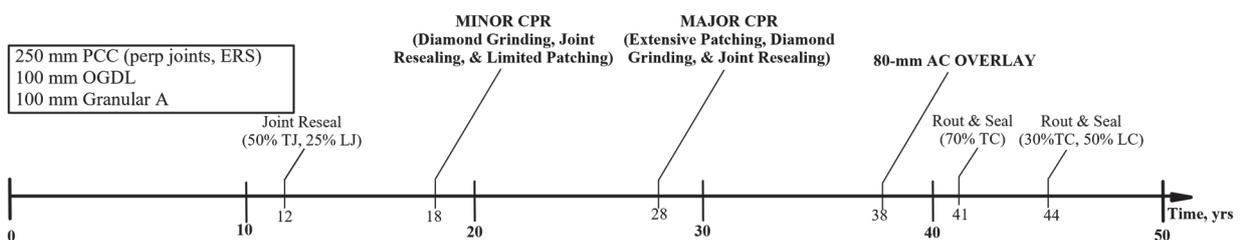


図-2 普通コンクリート舗装のLCC算定における補修時期の設定の例 (カナダオンタリオ州) 2)

コンクリート舗装では、舗装面が摩耗する18年目に小規模修繕（部分的なパッチング、ダイヤモンドグライディング、目地補修）を実施し、構造的な劣化が進む28年目に大規模修繕（広範囲のパッチング、ダイヤモンドグライディング、目地補修）を実施し、大規模修繕の劣化が進む38年目に80mmのアスファルトオーバーレイを実施することが推奨されている。維持工法は12年目に目地部を補修し、アスファルトオーバーレイ後では維持およびひび割れシールを3年毎に実施することが推奨されている。

(5) 将来費用の換算方法・割引率

表-8に示すように、全地域で、将来費用の現在価値への換算方法として、現在価値法による算出式をマニュアルに記載しており、割引率の設定としては、各国の財務省の最新の公表値を適用していることがわかった。

(6) LCCの算定ツール

表-9に示すように、LCCの算定ツールとして、いくつかの地域では、Real Cost (FHWA) などのLCCを算出するツールが汎用エクセル等で提供され、地域特性などを踏まえてLCCを算出することが可能となっている。計算ソフトの中では、プロジェクトレベルだけでなく、ネットワークレベルで、予算制約を設定し、設定した条件の中で最適な補修工法が選定されるといった機能を有しているものもみられた。

現在、我が国の設計体系の再構築を進めている。現行設計のように一律の設計期間を管理者が設定するのではなく、舗装に求められる個々の性能が保持される期間を使用材料や舗装構成からそれぞれ算出し、補修パターンも考慮して舗装全体の耐久性を評価することを目指している。今回の海外調査では、各性能の保持期間を予測するような先進事例までは確認できなかった。そのため、舗装の

路面性状や補修履歴に関するデータを蓄積し、各性能の劣化メカニズムの解明や性能の保持期間の予測手法の提案に取り組んでまいりたい。

4. おわりに

本稿では、我が国の舗装のLCCの標準的な算定手法の提案に向けて、海外におけるLCCの算定手法の最新の知見を収集するために文献調査を実施し、算定項目などを整理した。その結果、主として以下のことがわかった。

- 1) 多くの地域で、プロジェクトレベルでのLCCに関するマニュアルが整備され、高速道路や幹線道路を対象としてLCC比較により舗装種別選定が実施されている。
- 2) 調査項目としては道路管理者費用が必須項目とされているものの、道路利用者費用や沿道及び地域社会の費用は必須とされていない。
- 3) 標準的な修繕間隔を明示している場合もある。修繕費用において、修繕間隔、工法の設定がLCCに与える影響が大きなことから、補修パターンの設定が重要と考えており、今後、海外の事例の考え方を参考にして我が国の舗装のLCC算定手法の確立に向けて検討を進めてまいりたい。

参考文献

- 1) Pavements Life Cycle Cost Analysis Guide, Texas Department of Transportation, 2021
- 2) Pavement Design and Rehabilitation Manual, Ministry of Transportation of Ontario, 2013
- 3) CD 226 Design Manual for Roads and Bridges : England National Application Annex to CD 226 Design for new pavement construction, Highways England, 2020
- 4) Prolonging the Life of Road Assets Under Increasing Demand: A Framework and Tools for Informing the Development and Justification of Asset Preservation and Renewal, Austroads, 2021
- 5) (公社)日本道路協会：舗装設計施工指針、2006.2

堀内智司



国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部道路基盤研究室 主任研究官
HORIUCHI Satoshi

若林由弥



国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部道路基盤研究室 主任研究官
WAKABAYASHI Yuya

渡邊一弘



国土交通省国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 道路基盤研究室長
WATANABE Kazuhiro