

道路舗装とライフサイクルコスト —コンクリート舗装とアスファルト舗装の比較検討—

Road pavement and Life Cycle Cost

—A comparison of concrete pavement and asphalt pavement—

中島 洋行

Hiroyuki Nakajima

要旨

道路舗装は、ライフサイクルコスト (Life Cycle Cost : LCC) の研究対象の一つとして、これまで工学系や土木系を中心に一定の研究成果が蓄積されてきた。道路舗装が LCC の研究対象として有用性が高い理由として、次の 4 点が挙げられる。(1) 道路は、世界中の至るところにあり、主要な道路はそのほとんどが舗装道路である。(2) 道路は基本的に廃止されるということはなく、きわめて長期間にわたり利用される。(3) 道路の管理者である国や地方自治体は、財政的に厳しい状況にあり、道路のメンテナンスにかかる費用を少しでも減らしたい事情がある。(4) 現在の道路の主要な舗装方法はアスファルト舗装 (日本では約 95%がアスファルト舗装) だが、耐久性や二酸化炭素削減の観点からコンクリート舗装が注目されつつあり、アスファルト以外の選択肢も生じてきている。

このような状況をふまえて、本研究では、アメリカで発表された 3 つの道路舗装の LCC 算定モデルと、具体的なケースを検討することによって、LCC の観点からコンクリート舗装とアスファルト舗装を比較することを試みる。初期導入コストだけで判断した場合、アスファルト舗装が有利となるが、道路の供用開始後に発生する様々な維持管理コストを加えた LCC で考えると、コンクリート舗装が有利となる。アスファルト舗装は、表面にひび割れが生じやすく、定期的な補修を繰り返したとしても、10~20 年程度で寿命が訪れるのに対して、コンクリート舗装は非常に耐久性が高く、定期的な補修の必要性もアスファルト舗装に比べて少ないことが挙げられる。コンクリート舗装は、LCC が少なく、耐久性が高いだけでなく、二酸化炭素の吸収、夏場の路面温度の上昇を抑えるなどの効果もあり、今後、アスファルトに代わる道路舗装の新たな選択肢となることが期待されている。本研究では、コンクリート舗装とアスファルト舗装の LCC の比較を中心としながら、コスト面以外の要素も加味して、両者を比較検討する。

[キーワード] ライフサイクルコスト、道路、コンクリート舗装、アスファルト舗装

1. はじめに

道路を舗装する際に使用する材料として、どの材料を選択するかという意思決定は、道路管理者（国や地方自治体）にとって非常に重要な意思決定であるといえる。道路は長期間にわたり使用するため、維持管理コストが膨大となり、さらに舗装道路は至るところにあり数が多いため、必然的に舗装道路の維持管理コストは巨額になる。現在、主要な舗装部材であるアスファルトの場合、雨などの浸水によって表面にひび割れが発生し、道路の表面に凹凸ができてしまう。この状態では交通に障害が発生するため、定期的に表面のアスファルトを補修する工事が必要になる。したがって、舗装材料の選択の意思決定では、初期導入コストだけでなく、維持管理コストを考慮に入れたライフサイクルコスト (Life Cycle Cost: LCC) による意思決定が重要である。このような背景から、道路舗装は LCC の研究対象の一つとして、これまで工学系や土木系を中心に一定の研究成果が蓄積されてきた。

道路舗装が LCC の研究対象として有用性が高いと考えられる理由として 4 つの点が挙げられる。第一に、舗装道路は非常に数が多いことが挙げられる。道路は世界中の至るところにあり、国や地域により多少の差はあるものの都市部であれば、そのほとんどが舗装道路である。必然的に、どの材料を用いて舗装を行うかという意思決定が生じるとともに、意思決定がもたらす影響も大きくなる。第二に、道路の利用はきわめて長期間に及ぶことが挙げられる。道路は私たちの生活に欠かせないものであり、基本的に廃止されるということはない。したがって、道路はきわめて長期間にわたり利用される。長期間使用すればするほど、当然ながら維持管理コストの問題が重要になってくる。第三に、道路管理者である国や地方自治体の財政難が挙げられる。近年、日本各地で橋梁やトンネルの老朽化が指摘されているが、財政的に厳しい国や地方自治体はその補修費用を十分に捻出できない状況にある。国や地方自治体にとって、道路の維持管理にかかる費用を少しでも減らしたい事情がある。第四に、コンクリート舗装への注目が挙げられる。日本では、道路の主要な舗装方法¹は、アスファルト舗装だが、近年、コンクリート舗装に注目が集まっている。コンクリートは耐久性が高く、補修やメンテナンスの必要性が少ないことに加えて、夏場の路面の温度上昇を抑えたり、製造工程で二酸化炭素を吸収するコンクリートが開発されたりしていることから、道路舗装の新たな選択肢としてコンクリートが急浮上しつつある。

このような状況をふまえて、本研究では、工学的な観点ではなく、会計学の観点から、コンクリート舗装とアスファルト舗装の比較を行い、LCC の観点からコンクリート舗装の優位性を考察する研究の第一歩を踏み出すことを目的とする。本稿では、アメリカで公表されている 3 つの道路舗装の LCC 算定モデルと、具体的なケースを検討することによって、LCC の観点からコンクリート舗装とアスファルト舗装を比較することを試みる。初期導入コストだけで判断した場合、アスファルト舗装が有利となるが、道路の供用開始後に発生する様々な維持管理コストを加えた LCC で考えると、コンクリート舗装がコスト面で有利となる。アスファルト舗装は、表面にひび割れが生じやすく、定期的な補修を繰り返したとしても、10~20 年程度で寿命が訪れるのに対して、コンクリート舗装は非常に耐久性が高く、定期的な補修もアスファルト舗装に比べて少ないことが挙げられる。コンクリート舗装は、LCC が

少ないだけでなく、二酸化炭素の吸収、夏場の路面温度の上昇を抑えるなどの効果もあり、今後の道路舗装の新たな選択肢となることが期待されている。本研究では、LCC の比較を中心としながら、コスト面以外の要素も加味して、コンクリート舗装とアスファルト舗装を比較検討する。

以下本稿では、コンクリート舗装とアスファルト舗装の一般的な特徴を確認したうえで、舗装材料の選択にあたり LCC を活用している先行研究のレビューを通じて、LCC がどのような貢献を果たしているかについて明らかにする。続いて、アメリカで公表されている 3 つの LCC の算定モデルについて検討する。最後に、アメリカコンクリート舗装協会が示す舗装道路の LCC に関するケーススタディを検討することによって、コンクリート舗装とアスファルト舗装の比較では、コスト面に限ればコンクリート舗装が優位であることを明らかにする。一方で、道路舗装の LCC 算定には多くの課題が残されていることに加えて、舗装材料の選択は、LCC の大小だけで判断できる単純な問題ではないことから、今後、検討を重ねるべき事項が多く残されていることもまた事実である。したがって、今後の研究の展開方向についても最後に示したい。

2. コンクリート舗装とアスファルト舗装の比較

本研究では、コンクリート舗装とアスファルト舗装の比較検討を LCC の観点から行うことを目的とするが、その前提として、コンクリート舗装とアスファルト舗装をいくつかの観点から対比し、一般的な特徴を把握することが必要になる。公益社団法人日本道路協会は、2021 年 12 月に「舗装種別選定の手引き」を発行している。この手引きの中で、コンクリート舗装とアスファルト舗装を 12 項目にわたり比較し、各項目で優位性があるのはどちらであることを示している（素材によって優劣が変化する騒音については優位性は示されていない）。図表 1 は、12 項目にわたる比較の結果を一覧表にまとめたものである。

図表 1 から明らかなように、騒音を除いた 11 項目のうち、アスファルト舗装の優位性が高い項目が 6 項目、コンクリート舗装の優位性が高い項目が 5 項目と、拮抗している。したがって、舗装する道路の交通量や環境に応じて、最適な舗装材料を使い分けるとするのが現実的な対応となっている。大型車の交通量が特に多い道路やトンネル内ではコンクリート舗装を用いる一方で、長期間にわたり道路を閉鎖して舗装工事ができないような場所ではアスファルト舗装が用いられることが多い。初期導入コストは、アスファルト舗装が安価であることから、これまで日本ではアスファルト舗装が主流となり、約 95%がアスファルト舗装となっている。世界を見渡すと、先進国ではコンクリート舗装の普及率は日本よりも高い傾向にある。

図表1 コンクリート舗装とアスファルト舗装の比較

比較項目	コンクリート舗装	アスファルト舗装	優位性あり
施工性	養生時間が必要で、交通開放まで時間を要する	施工時間が短く、養生不要のため、早期の交通開放が可能	アスファルト
維持管理	各種補修作業や掘り返しが困難	部分補修や掘り返しが容易	アスファルト
不等沈下 ² への対応性	小規模の不等沈下に追従しにくく、空洞や段差が発生しやすい	小規模の不等沈下には追従可能であり、補修も容易	アスファルト
流動わだち ³ への耐久性	塑性変形による流動わだちは生じない	高温時でかつ交通量が多いと流動わだちが生じやすい	コンクリート
路面の透水機能	ポーラス構造の舗装を採用する場合、特殊な技術が必要	ポーラス構造の舗装を採用すれば、透水機能が高くなる	アスファルト
路面の耐久性	構造特性上、高い耐久性を持つ	コンクリートよりも耐久性が低く、紫外線の影響も受ける	コンクリート
騒音	普通コンクリートの場合には騒音が発生しやすい	施工後一定期間騒音を低減させる素材もある	舗装の素材により異なる
明色性	路面反射率が高く、トンネル内や夜間の視認性が良好	トンネル内や夜間の場合は視認性が悪くなる	コンクリート
熱環境負荷低減	アスファルトに比べて路面温度は低くなる	夏季や日照時は路面温度が高くなりやすい	コンクリート
走行性	目地があるため、振動が大きくなりやすい	目地がないため、目地に由来する振動はない	アスファルト
材料の価格安定性	セメントは国内生産のため価格と量の安定供給が可能	原油価格に影響を受けるため不安定になりやすい	コンクリート
初期コスト	アスファルトと比べて高価	コンクリートと比べて安価	アスファルト

(出所) 日本道路協会 (2021) 「舗装種別選定の手引き」、12-13 頁を基に筆者作成。

3. ライフサイクルコストを活用した舗装材料選択の意思決定に関する先行研究

道路舗装と LCC に関する先行研究は工学系や土木系において蓄積がある一方で、舗装材料の選択について LCC の観点から検討した先行研究はわずかしかない。少なくとも、会計学系の研究者が行った先行研究は、筆者が調査した限りでは存在しない。

舗装材料としてコンクリートとアスファルトのどちらを採用することがコスト面で有利であるかについて、LCC の観点から検討した先行研究がいくつかある。紙幅の都合もあること

132 から、これらの先行研究についてごく簡潔にレビューする。

Embacher et al. (2001) では、アメリカミネソタ州の高速道路の舗装について、交通量や環境条件が類似した区間で比較を行った結果、コンクリート舗装の方が LCC が小さくなったことが示されている。

一方で、Lee et al. (2011) では、アメリカカリフォルニア州の高速道路の舗装について、長寿命アスファルト舗装、標準寿命アスファルト舗装、コンクリート舗装の 3 種類の舗装について、60 年間の使用を想定して LCC を算定したところ、高寿命アスファルト舗装が最も LCC が低くなった結果が示されている。

また、LCC だけではなく、ライフサイクルアセスメント (Life Cycle Assessment : LCA) を組み合わせて検討した先行研究もある。Gschösser and Wallbaum (2013) では、スイスで主に行われているアスファルト舗装、コンクリート舗装、複合舗装の 3 種類の舗装について、LCA と LCC の分析を行った結果、コンクリート舗装を採用した方が LCC、ライフサイクルにわたるエネルギー需要量、燃費の面でそれぞれ有利になることが示されている。

さらに、Heidari et al. (2020) では、持続可能性がある舗装材料の選択を行うために、LCC と LCA を統合した分析モデルを活用し、イランの高速道路プロジェクトについて分析したところ、アスファルト舗装を選択した方が LCC は小さくなるが、二酸化炭素排出量とエネルギー消費量は増大し、環境負荷が大きくなることが明らかにされている。

このように、LCC を用いて、コンクリート舗装とアスファルト舗装のどちらがコスト面で有利になるかを検討した研究は既にあるものの、ケースの設定条件や LCC にどのような要素のコストを加えるかは個々の研究成果によって異なるため、最終的な結果もコンクリート舗装が有利なケースと、アスファルト舗装が有利なケースに分かれている。

4. 道路舗装におけるライフサイクルコストの算定モデル

道路舗装の LCC を算定するためのモデルとして、アメリカでは、運輸省連邦高速道路局 (1998 年)、テキサス州交通局 (1999 年)、アメリカコンクリート舗装協会 (2012 年) からそれぞれ報告書が発表されている。これらの報告書は、いずれもその後の道路舗装と LCC の研究に一定の影響を与えている。それぞれの報告書で提示されている LCC の算定モデルには類似している部分が多くあるものの、細かな部分で異なる点がいくつかある。本節では、これら 3 つの算定モデルを概観する。

(1) 運輸省連邦高速道路局が発表した LCC の算定モデル (1998 年)

運輸省連邦高速道路局では、LCC の分析プロセスを次のように 8 段階に区分している。なお、LCC を分析する際には、複数の代替案を比較検討するが、その際に、どの代替案を選択しても発生するコスト (埋没原価) は LCC に含めずに、代替案間で異なるコストだけを集計することが指摘されている。この点は、後述する 2 つの報告書とは異なる点である [Walls III et al. (1998), pp.9,12-13]。

- ①分析対象期間の舗装設計戦略に対する代替案の策定
- ②許容できる舗装性能と補修及びメンテナンスの実施時期の確定

- ③道路管理者である行政機関が負担するコストの見積り
- ④道路利用者であるユーザーが負担するコストの見積り
- ⑤分析期間内のコスト発生ダイアグラムの作成
- ⑥割引現在価値の計算
- ⑦結果の分析
- ⑧設計戦略の再評価

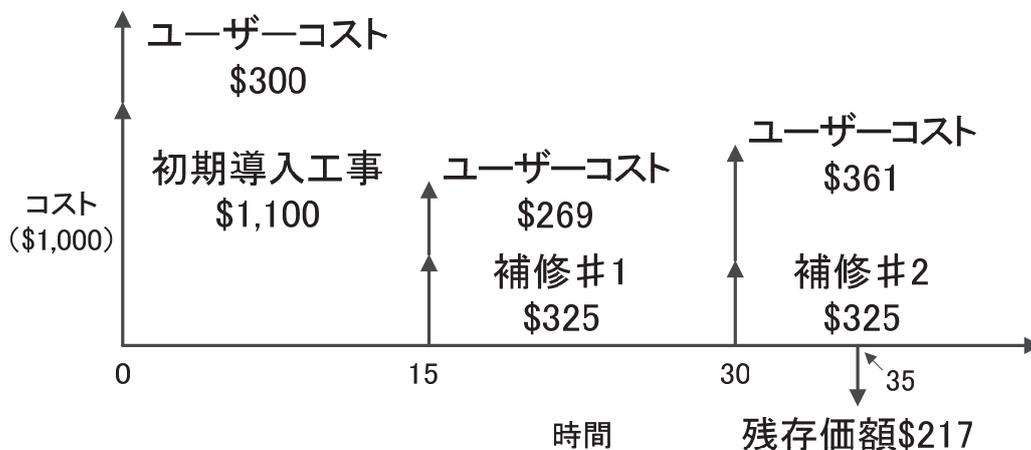
なお、③と④については、具体的にどのようなコストが含まれるかについて明示されている。③に含まれるコストとして、道路の供用開始前に発生する予備設計、契約管理、工事監督、工事関連のコストと、道路の供用開始後に発生する予防保全、補修、再舗装のコストが該当する。また、残存価額、残余価値がある場合には、「負のコスト」としてLCCから控除される。また、④には、道路舗装の状態が悪いことによる影響、舗装工事に伴う道路ユーザーの目的地到着の遅延、交通事故の影響などを、VOC (Vehicle Operating Cost) rate や Milage rate などの指数を用いて金銭価値に変換したコストなどが含まれる [Walls III et al. (1998), pp.13-20]。

LCCの構成要素の見積りが完了したならば、図表2に示すようなコスト発生ダイアグラムを作成する。コスト発生ダイアグラムには、行政機関が負担するコストとユーザーが負担するコストの両方が記載される。これによって、視覚的に分析対象期間のコストの発生状況が把握できる。図2の例であれば、割引現在価値を無視すれば、LCCは下記のように計算される。

$$LCC = 1,100 + 300 + 325 + 269 + 325 + 361 - 217 = 2,463 \times 1,000 = \$2,463,000$$

なお、コンクリート舗装を選択すると、補修やメンテナンスの回数が少ないため、縦方向に伸びる矢印の数は少なくなるが、アスファルト舗装を選択すると、補修やメンテナンスの回数が多くなるため、縦方向に伸びる矢印の数が多くなり、込み入った図になる。

図表2 コスト発生ダイアグラム



LCC を算定するにあたり、将来にわたり発生が予想されるコストについては、貨幣の時間価値を考慮して、下記の算式によって、割引現在価値に修正する必要がある。この時に割引率の選択が重要な意味を持つ。図表 3 に示すように、選択された割引率によって、LCC（割引現在価値合計）が大きく変化することがその理由である。

$$NPV = \text{Initial Cost} + \sum_{k=1}^n \text{Rehab cost}_k \left[\frac{1}{(1+i)^{n_k}} \right]$$

図表 3 割引率の選択による割引現在価値の変化

コスト 内訳	経過 年数	コスト 発生額	割引 なし	割引率				
				2.0%	3.0%	4.0%	5.0%	6.0%
初期導入工事	0	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
ユーザー	0	300	300	300	300	300	300	300
補修#1	15	325	325	241	209	180	156	136
ユーザー#1	15	269	269	200	173	149	129	112
補修#2	30	325	325	179	134	100	75	57
ユーザー#2	30	361	361	199	149	111	84	63
残存価額	35	-217	-217	-108	-77	-55	-39	-28
割引現在価値合計			2,463	2,112	1,987	1,886	1,805	1,739

(単位：\$1,000)

(出所) Walls III et al. (1998), p.28 (一部修正) .

なお、割引率の選択にあたっては、インフレーションの影響を加味した名目の割引率と、影響を加味しない実質の割引率のどちらを選択することもできるとしている。なお、Walls III et al. (1998) では、行政予算管理局が毎年発表する“OMB Circular A-94”に掲載される過去数年間の割引率の平均値を活用することが推奨されている [Walls III et al. (1998), p.5,7]。

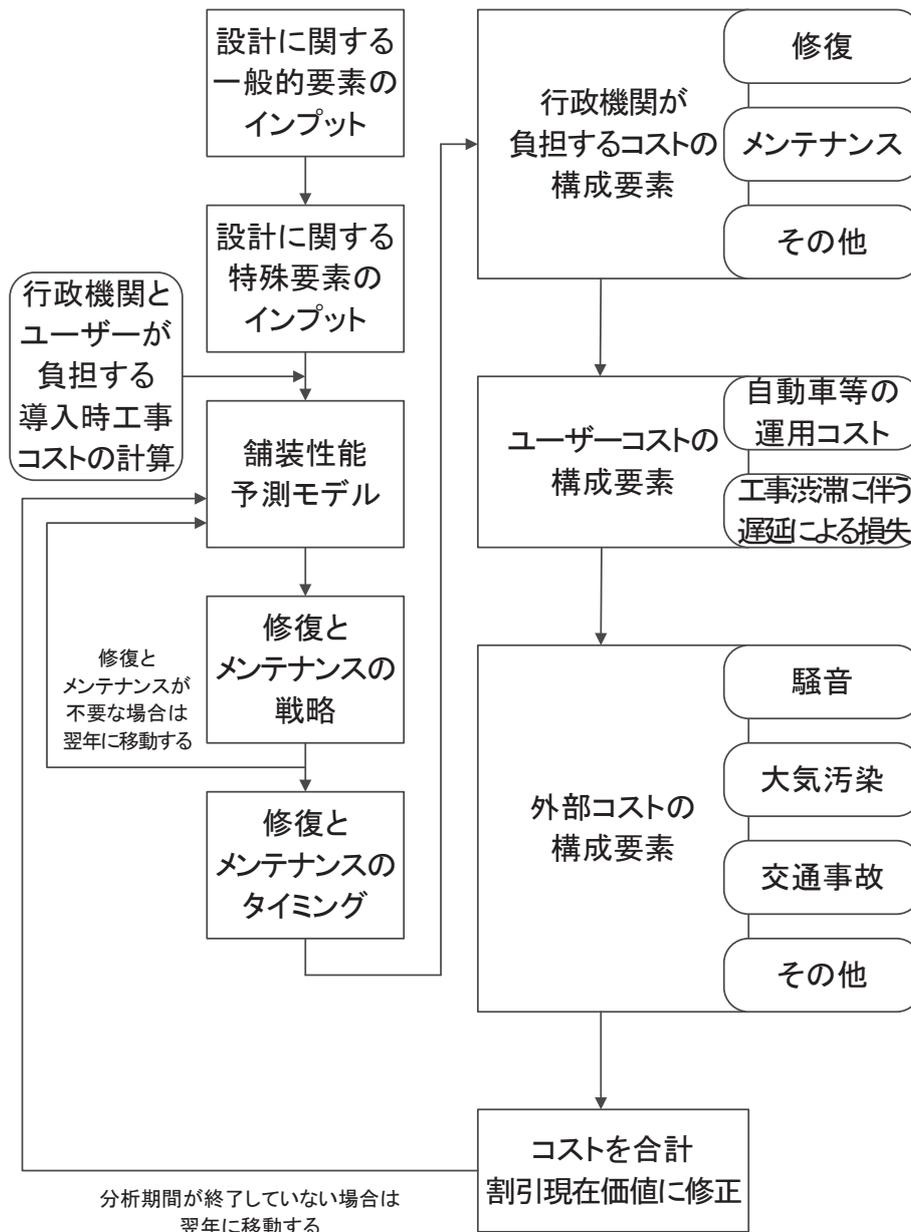
LCC（割引現在価値合計）の算定が終わったならば、それぞれの設計代替案の再評価プロセスに入るが、この際に重要なのは、LCC は意思決定を行う際の一つの参考情報に過ぎず、最終的な意思決定にあたっては、行政機関の方針、資金の調達状況、要求水準を満たす工事技術、行政機関の経験なども加味することである。また、長期間にわたる意思決定となることから、内在するリスクや不確実性も考慮に入れたうえで、意思決定を行う必要がある [Walls III et al. (1998), p.31]。

(2) テキサス州交通局が発表したLCCの算定モデル(1999年)

Wilde et al. (1999) は、ポルトランドコンクリート舗装を高速道路に採用するために、LCCの包括的な算定モデルとコンピュータプログラムを提供することを目的として、運輸省連邦高速道路局の協力を受けながら、テキサス州交通局がまとめたレポートである。

Wilde et al. (1999) によれば、LCCの算定モデルは図表4のように表される。LCCの基本的な構成要素は、次の4つに分類される [Wilde et al. (1999), pp.23-25,30]。

図表4 ライフサイクルコスト算定のための統合的なフレームワーク



①舗装を新たに行う際の導入時工事のコスト

道路の管理者である行政機関が負担する舗装工事に関わるコストである。

②道路の使用段階で定期的に発生する修復とメンテナンスに関するコスト

道路の管理者である行政機関が、道路の供用開始後に負担するコストであり、舗装の補修とメンテナンスに関連するコストが該当する。

③道路のユーザーが負担するコスト

道路の利用者が負担するコストであり、舗装の補修やメンテナンスによる工事に伴って発生する迂回や交通渋滞によって発生する時間のロスなどを金銭価値に置き換えたものである。Wilde らによれば、道路の補修やメンテナンスによって実際に発生するコストの何倍ものユーザーコストが発生するため、無視できない要因であるという。

④外部コスト (external cost)

補修やメンテナンスも含めた道路舗装工事全般に伴って発生する騒音、大気汚染、交通事故などに関連するコストだが、定量化や評価が難しいため、LCC の算定では通常は無視されている。しかし、Wilde らによれば、合理的に定量化できる場合には、LCC に含めることができるという。

①～④を合計し、割引現在価値に修正したものが LCC になる。算定された LCC に基づいて、舗装性能予測モデル（今後、どのくらいの水準で舗装性能の低下が進むかを予測するモデル）に戻り、修復とメンテナンス戦略の見直しに役立てる。

ただし、Wilde et al. (1999) では、図表 4 のモデルだけで舗装の最適な代替案を選択することはできず、実際には 1999 年時点では評価ができていない様々な要因を加味したうえで、代替案の選択が行われることが示されている [Wilde et al. (1999) ,p.31]。

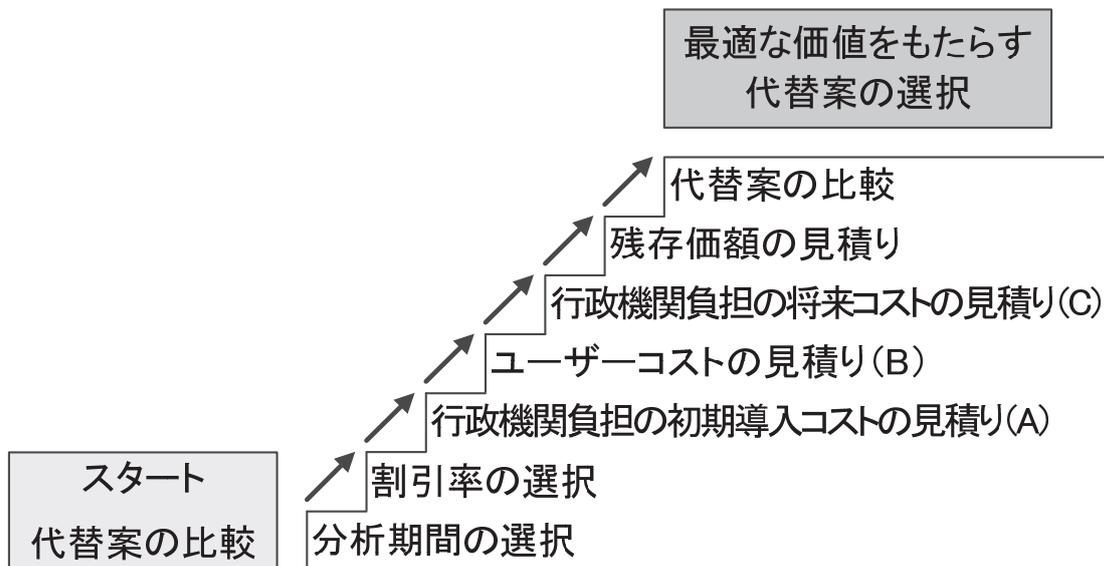
(3) アメリカコンクリート舗装協会が発表した LCC の算定モデル (2012 年)

アメリカコンクリート舗装協会が発表したライフサイクルコスト分析のステップを図示したものが図表 5 である。ライフサイクルコスト分析は、分析期間や割引率などの基本要件を定め、LCC を算定し、意思決定を下すまでの一連のプロセスを表している。

アメリカコンクリート舗装協会によれば、ライフサイクルコストを分析する際には、分析期間は、十分に長い期間を設定し、その間に少なくとも 1 回は大規模な補修と予防保全が含まれることが望ましいという。具体的な目安として、40～50 年を分析期間とすることが推奨されている [American Concrete Pavement Association (2012), p.5]。

LCC に含まれるコストのうち、将来にわたり発生が予想されるコストについては、適切な割引率を設定し、割引現在価値に修正する手続きが必要になる。どのような割引率を選択するかによって、LCC の金額が大きく左右し、意思決定に影響を与える可能性もあるため、割引率の選択は重要である。割引率を設定するために必要な情報の入手が難しく、適切な割引率の設定ができない時には、行政管理予算局が定める割引率 (Real discount rate⁴) の利用をアメリカコンクリート舗装協会は推奨している [American Concrete Pavement Association (2012), p.14]。

図表5 ライフサイクルコスト分析の7つのステップ



(出所) American Concrete Pavement Association (2012), p.5.

LCCは3つの要素で構成される。まず、道路の管理者である行政機関が負担するコストと、道路のユーザーが負担するコストに区分されて、さらに前者は、初期導入時に行政機関が負担するコストと、将来にわたり行政機関が負担するコストに区分される。これらを合算することで、LCCが算定される。

行政機関が負担するコストとしては、初期設計及び建設に関わるコスト、補修やメンテナンスに関わるコスト、解体・撤去時のコストとして、それぞれの工事を担当する施工業者に支払う工事代金等が含まれる。また、舗装材料のリサイクルによって残存価額がある場合には、負のコストとして、LCCから控除する。一方で、ユーザーが負担するコストとしては、舗装工事に伴う道路の閉鎖に伴う交通障害、あるいはレーンの縮小による交通渋滞によって、目的地への到達に時間がかかることの経済的なロスや、それに伴う燃費の悪化などが含まれる [American Concrete Pavement Association (2012), p.16,20]。

以上のプロセスで算定した3つの要素のコストを合算し、割引率によって割引現在価値に修正する。この時に、割引現在価値が小さい代替案の方がLCCの観点から有利な代替案であると判断する。

5. ライフサイクルコストによるコンクリート舗装とアスファルト舗装の比較検討の実例

アメリカコンクリート舗装協会（American Concrete Pavement Association : ACPA）が示しているケースに基づき、LCC の観点から、コンクリート舗装とアスファルト舗装を比較する。ウィスコンシン州ホワイトフィッシュベイ村（Village of Whitefish Bay, Wisconsin）のディバーシー・ブールバード・ストリート（Diversey Boulevard Street）の 10,000 平方ヤード（約 8,360 m²）にわたる道路舗装の改修に関するケースである⁵。

道路舗装の改修を検討している区間にはコンクリート舗装の部分と、アスファルト舗装の部分がある。前者は、舗装から 80 年が経過しているが良好な状態を保っている一方で、後者は舗装から 34 年が経過しているが状態は良くない。今回の道路舗装の改修にあたり、該当する区間をコンクリート舗装もしくはアスファルト舗装のいずれかによって舗装することを検討し、その意思決定の判断材料の一つとして、LCC を活用することとなった。LCC を算定する対象期間は 90 年間、割引率は 3% にそれぞれ設定している。

以下では、前節で検討した同協会の LCC 算定モデルに基づき、コンクリート舗装を採用した場合の LCC とアスファルト舗装を採用した場合の LCC をそれぞれ算定する。まず、それぞれの舗装を選択した場合に、行政機関（このケースではホワイトフィッシュベイ村）が負担する初期導入コストを算定する。図表 6 は、コンクリート舗装を選択した場合の初期導入コスト、図表 7 はアスファルト舗装を選択した場合の初期導入コストをそれぞれ示している。

図表 6 コンクリート舗装を選択した場合に行政機関が負担する初期導入コスト

舗装に用いる部材と作業内容	数量	単価	総額
7 インチコンクリート舗装	10,000 SY	\$ 22.00/SY	\$ 220,000
コンクリート製の縁石と溝	5,580 LF	\$ 11.00/LF	\$ 61,380
4 インチ骨材サブベース	3,120 Ton	\$ 10.50/Ton	\$ 32,760
未分類掘削 ⁶	4,600 CY	\$ 13.00/CY	\$ 59,800
行政機関が負担する初期導入コストの総額			\$ 373,940

〔略称〕 SY : Square Yard LF : Linear Foot CY : Cubic Yard

（出所） American Concrete Pavement Association (2012), p.41.

図表7 アスファルト舗装を選択した場合に行政機関が負担する初期導入コスト

舗装に用いる部材と作業内容	数量	単価	総額
2 インチアスファルト舗装仕上層	1,150 Ton	\$ 48.42/Ton	\$ 55,683
タックコート 2	250 gal	\$ 1.25/gal	\$ 313
3 インチアスファルト舗装下層	1,725 Ton	\$ 42.10/Ton	\$ 72,623
タックコート 1	200 gal	\$ 1.25/gal	\$ 250
コンクリート製の縁石と溝	5,580 LF	\$ 11.00/LF	\$ 61,380
10 インチ骨材サブベース	5,200 Ton	\$ 10.50/Ton	\$ 54,600
未分類掘削	5,230 CY	\$ 14.00/CY	\$ 73,220
行政機関が負担する初期導入コストの総額			\$ 318,068

[略称] gal : gallon

(出所) American Concrete Pavement Association (2012), p.41.

図表6と図表7から明らかなように、初期導入コストで考えた場合には、アスファルト舗装を選択した方が行政機関の負担額は小さくなる。なお、このケースは人口が少ない村を対象としていて、道路の利用者が負担する「ユーザーコスト」に相当するものがない（あるいはユーザーコストはきわめて少額である）ことから、これについては考慮されていない。

続いて、90年先までに行政機関が負担するコストを算定する。図表8は、コンクリート舗装を選択した場合に、今後90年間にわたり行われる各種作業を、図表9は、コンクリート舗装を選択した場合のLCCを割引現在価値に修正したものをそれぞれ表している。

図表8 コンクリート舗装を選択した場合に今後90年間にわたり行われる各種作業

年数	作業タイプ	作業内容	数量	単価	総額
15	メンテナンス	目地シーリング (15%)	2,250 LF	\$ 0.50/LF	\$ 1,125
30	メンテナンス	目地シーリング (30%)	4,500 LF	\$ 0.50/LF	\$ 2,250
30	予防保全	全層補修 (パネルの2% @ 6フィート)	40 CY	\$ 180/CY	\$ 7,200
30	予防保全	部分的補修 (継ぎ目の3%)	180 LF	\$15.00/LF	\$ 2,700
45	メンテナンス	目地シーリング (30%)	4,500 LF	\$ 0.50/LF	\$ 2,250
60	メンテナンス	目地シーリング (30%)	4,500 LF	\$ 0.50/LF	\$ 2,250
60	予防保全	全層補修 (パネルの4% @ 6フィート)	80 CY	\$ 180/CY	\$ 14,400
60	予防保全	部分的補修 (継ぎ目の6%)	360 LF	\$15.00/LF	\$ 5,400
75	メンテナンス	目地シーリング (30%)	4,500 LF	\$ 0.50/LF	\$ 2,250

図表 9 コンクリート舗装を選択した場合のライフサイクルコスト(割引現在価値を考慮)

年数	ライフサイクルコストの内訳	総額	割引現在価値
0	初期導入 (建設)	\$ 373,940	\$ 373,940
15	メンテナンス	\$ 1,125	\$ 722
30	メンテナンス/予防保全	\$ 12,150	\$ 5,006
45	メンテナンス	\$ 2,250	\$ 595
60	メンテナンス/予防保全	\$ 22,050	\$ 3,743
75	メンテナンス	\$ 2,250	\$ 245
ライフサイクルコスト (割引現在価値の合計額)			\$ 384,250

※割引現在価値を算定するための割引率は3%に設定している。

(出所) American Concrete Pavement Association (2012) , p.43.

また、図表 10 は、アスファルト舗装を選択した場合に、今後 90 年間にわたり行われる各種作業を、図表 11 は、アスファルト舗装を選択した場合の LCC を割引現在価値に修正したものをそれぞれ表している。

図表 9 と 11 から明らかなように、アスファルト舗装を選択した場合、初期導入コストは小さくなるものの、90 年間にわたる LCC を計算した場合、コンクリート舗装の約 1.4 倍のコストがかかる。したがって、このケースでは、コスト面での評価に限れば、アスファルトよりもコンクリートによって道路舗装を行った方が有利となる。

ただし、LCC による比較を行う場合には、注意しなければならない点もいくつかある。まず、このケースでは分析対象期間が 90 年ときわめて長いため、舗装の再構築が不要で、かつメンテナンスや予防保全の頻度も少ないコンクリート舗装が有利になるが、分析対象期間が短くなれば、アスファルト舗装が有利になる場合も出てくる。

さらに、選択される割引率によって、コスト面での優劣の度合いに変化が生じることに注意が必要である。アスファルトを選択した場合には、LCC に占める将来にわたり発生するコストの割合が高くなるため、割引率によって割引現在価値に修正される部分が多くなる。この時に、高い割引率を設定すればするほど、将来にわたり発生するコストは小さく評価されることになる。その結果、コンクリートとアスファルトの選択に関する意思決定にも影響を与える可能性があり得る。

最後に、このケースでは、人口が少ない村の道路を対象としていることから、交通量は考慮されていないが、実際には舗装の劣化は交通量と密接に関連している。すなわち、交通量が多ければそれだけ舗装の劣化が進み、より多くの補修とメンテナンスが必要になる。したがって、交通量が少ない場合には、アスファルトの補修やメンテナンスの頻度も少なくなり、結果的にアスファルトを選択した場合の LCC も小さくなる可能性がある。逆に、交通量が多ければ、ますますコンクリート舗装がコスト面では優位であるという結論になる。

図表 10 アスファルト舗装を選択した場合に今後 90 年間にわたり行われる各種作業

年数	作業タイプ	作業内容	数量	単価	総額
3	メンテナンス	ひび割れ（クラック）補修	3,000 LF	\$ 0.50/LF	\$ 1,500
7	メンテナンス	ひび割れ（クラック）補修	4,000 LF	\$ 0.50/LF	\$ 2,000
15	予防保全	シーラコート（継ぎ目補修）	10,000 SY	\$ 1.75/SY	\$ 17,500
15	メンテナンス	ひび割れ（クラック）補修	5,000 LF	\$ 0.50/LF	\$ 2,500
22	メンテナンス	ひび割れ（クラック）補修	6,000 LF	\$ 0.50/LF	\$ 3,000
30	舗装の再構築	古いアスファルト舗装の除去	10,000 SY	\$ 2.00/SY	\$ 20,000
30	舗装の再構築	新しいアルファルト舗装の実施	1 LS	\$ 318,068/LS	\$ 318,068
33	メンテナンス	ひび割れ（クラック）補修	3,000 LF	\$ 0.50/LF	\$ 1,500
37	メンテナンス	ひび割れ（クラック）補修	4,000 LF	\$ 0.50/LF	\$ 2,000
45	予防保全	シーラコート（継ぎ目補修）	10,000 SY	\$ 1.75/SY	\$ 17,500
45	メンテナンス	ひび割れ（クラック）補修	5,000 LF	\$ 0.50/LF	\$ 2,500
52	メンテナンス	ひび割れ（クラック）補修	6,000 LF	\$ 0.50/LF	\$ 3,000
60	舗装の再構築	古いアスファルト舗装の除去	10,000 SY	\$ 2.00/SY	\$ 20,000
60	舗装の再構築	新しいアルファルト舗装の実施	1 LS	\$ 318,068/LS	\$ 318,068
63	メンテナンス	ひび割れ（クラック）補修	3,000 LF	\$ 0.50/LF	\$ 1,500
67	メンテナンス	ひび割れ（クラック）補修	4,000 LF	\$ 0.50/LF	\$ 2,000
75	予防保全	シーラコート（継ぎ目補修）	10,000 SY	\$ 1.75/SY	\$ 17,500
75	メンテナンス	ひび割れ（クラック）補修	5,000 LF	\$ 0.50/LF	\$ 2,500
82	メンテナンス	ひび割れ（クラック）補修	6,000 LF	\$ 0.50/LF	\$ 3,000

〔略称〕 LS : lump sum

（出所） American Concrete Pavement Association (2012), p.42.

図表 11 アスファルト舗装を選択した場合のライフサイクルコスト(割引現在価値を考慮)

年数	ライフサイクルコストの内訳	総額	割引現在価値
0	初期導入 (建設)	\$ 318,068	\$ 318,068
3	メンテナンス	\$ 1,500	\$ 1,373
7	メンテナンス	\$ 2,000	\$ 1,626
15	メンテナンス/予防保全	\$ 20,000	\$ 12,837
22	メンテナンス	\$ 3,000	\$ 1,566
30	舗装の再構築	\$ 338,068	\$ 139,280
33	メンテナンス	\$ 1,500	\$ 566
37	メンテナンス	\$ 2,000	\$ 670
45	メンテナンス/予防保全	\$ 20,000	\$ 5,289
52	メンテナンス	\$ 3,000	\$ 645
60	舗装の再構築	\$ 338,068	\$ 57,381
63	メンテナンス	\$ 1,500	\$ 233
67	メンテナンス	\$ 2,000	\$ 276
75	メンテナンス/予防保全	\$ 20,000	\$ 2,179
82	メンテナンス	\$ 3,000	\$ 266
ライフサイクルコスト (割引現在価値の合計額)			\$ 542,254

※割引現在価値を算定するための割引率は3%に設定している。

(出所) American Concrete Pavement Association (2012), p.43.

6. むすび

本研究では、道路舗装はLCCの研究対象の一つとして有力であることを示唆したうえで、アメリカで発表されている道路舗装のLCC算定モデルを検討し、LCCを活用してコンクリート舗装とアスファルト舗装の選択の意思決定を行うケースについて考察した。その結果、初期導入コストだけで判断すればアスファルト舗装が有利だが、LCCを考慮した場合にはコンクリート舗装が有利であることが明らかになった。

一方で、道路舗装において、コンクリートとアスファルトのどちらを採用するかという意思決定において、LCCはコスト面からの判断材料を提供しているに過ぎない点に留意しなければならない。実際には、LCCだけではなく、舗装工事に要する時間、耐久性、交通量、路面の温度上昇なども加味したうえで、総合的な判断に基づく意思決定としてどちらかを選択することになる。とはいえ、道路を管理する行政機関にとっては、コスト情報はきわめて重要であり、意思決定の重要な判断材料の一つであることに変わりはない。

本研究の貢献は、会計学研究の立場から、道路舗装の材料選択の意思決定について検討した点にある。道路舗装に関わるコストは、道路を管理する行政機関にとって重い負担となっ

ていることから、LCCの観点からコスト面で優位な舗装方法を検討するための具体的な方法を紹介したことには大きな意義がある。

一方で、本研究で紹介した3つのLCC算定モデルには課題が多く残されていることもまた事実である。例えば、将来の修繕及びメンテナンスコストの見積り方法の確立、割引率の選択、コスト換算が難しい要素（舗装工事に伴う渋滞による経済的損失など）のLCCへの反映など、今後、検討しなければならない課題が多く残されている。また、近年、コンクリートにはその製造過程で二酸化炭素を吸収する効果があることが示されていることから、コンクリート舗装を用いることで、カーボンクレジットと結びつけた新しいLCCの算定モデルを産み出すことができると考えられる。これらについては、今後の研究課題としたい。

¹ 一般的に日本では、舗装道路の約95%がアスファルト舗装であり、約5%がコンクリート舗装であると言われている。詳細は下記を参照されたい。

フジプレコン株式会社ホームページ

<https://www.fujiprecon.co.jp/blog/archives/6315> (2022年2月28日アクセス)

² 不等沈下は不同沈下とも呼ばれている。不同沈下について、日本大百科全書によれば「構造物の基礎地盤の沈下に伴い、構造物の各部で不均一な沈下を生じる現象。不等沈下ともいう。一般に沈下が全体的に一樣であれば構造物に破壊や変状を生じることは少ないが、不同沈下すると傾斜したり変形して亀裂を生じやすい。」と説明されている。

³ 積載量の多い大型トラックなどの交通量が激しい道路の場合、道路上の大型車両のタイヤが繰り返し通過する場所だけ道路の舗装がへこみ、わだちができてしまう現象のことをいう。

⁴ ホワイトハウスのホームページ上で公開されている2020年12月21日に発表された最新のReal discount rateは、期間30年の場合、-0.3%となっている。1980年以降にReal discount rateの割引率がマイナスになったケースは一度もなかったが、今回、初めてマイナスの数値となった。なお、30年以上の期間を対象とする場合でも、期間30年の割引率が適用できることが示されている。

https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2020/12/2020_Appendix-C.pdf

(2022年2月28日アクセス)

⁵ American Concrete Pavement Association (2012)によれば、このケースは、ウィスコンシン州コンクリート舗装協会 (Wisconsin Concrete Pavement Association's (WCPA's) report) の「ホワイトフィッシュベイ村のディバーシー・ブルバード・ストリートの改修におけるコンクリート舗装の選択」(“The Selection of Concrete Pavement for Diversey Boulevard Street Reconstruction—Village of Whitefish Bay”)と題する報告書から引用している。ウィスコンシン州コンクリート舗装協会の報告書を入手することができないため、本稿では、American Concrete Pavement Association (2012)を参照する。

⁶ 特定の物質を採取することを目的とせずに掘削することである。ここでは、骨材とセメントを流し込むための「穴」を掘削することを意味している。

【参考文献】

[1] American Concrete Pavement Association (2012), *Life Cycle Cost Analysis : A tool for better pavement investment and engineering decisions*, American Concrete Pavement Association

[2] Embacher, R.A. and M.B. Snyder (2001), “Life-Cycle Cost Comparison of Asphalt and Concrete Pavements on Low-Volume Roads ; Case Study Comparisons,”
Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board,

-
- Vol.1749, Issue.1, pp.28-37.
- [3] Gschösser, F. and H. Wallbaum (2013), “Life Cycle Assessment of Representative Swiss Road Pavements for National Roads with an Accompanying Life Cycle Cost Analysis,” *Environmental Science & Technology*, Vol.47, No.15, pp.8453-8461.
- [4] Heidari, M. R., G.Heravi and A.N.Esmaeeli (2020), “Integrating life-cycle assessment and life-cycle cost analysis to select sustainable pavement : A probabilistic model using managerial flexibilities,” *Journal of Cleaner Production*, Vol.254 (1 May 2020), 120046.
- [5] Lee, E., C.Kim and J.T. Harvey (2011), “Selection of Pavement for Highway Rehabilitation Based on Life-Cycle Cost Analysis : Validation of California Interstate 710 Project, Phase 1,” *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, Vol.2227, pp.23-32.
- [6] Walls III, J. and M.R.Smith (1998), *Life Cycle Cost Analysis in Pavement Design—In Search of Better Investment Decisions—*, U.S.Department of Transportation Federal Highway Administration.
- [7] Wilde, W.J., S.Waalkes and R.Harrison (1999), *Life Cycle Cost analysis of Portland cement concrete pavements*, *Research Report 0-1739-1*, Texas Department of Transportation.
- [8] 公益社団法人日本道路協会 (2021) 「舗装種別選定の手引き」
https://www.road.or.jp/technique/pdf/hosou_syubetu.pdf (2022年2月28日アクセス)
- [9] フジプレコン株式会社ホームページ
<https://www.fujiprecon.co.jp/blog/archives/6315> (2022年2月28日アクセス)