

ライフサイクルコストを考慮した舗装の最適管理水準の検討

Examination of Optimal Pavement Management and Maintenance Level
that Incorporates Life Cycle Cost

清野 昌貴* 岳本 秀人**

Masaki SEINO and Hideto TAKEMOTO

これまでの日本の道路整備は、量的不足の効率的な解消を目指し、着実に進められてきた。道路の量的ストックはある程度の水準にまで形成されたといえる。現在道路は、国民の生活を支え産業経済の発展に欠くことのできない社会基盤であり、この資産を如何に効率的かつ効果的に管理していくかが課題となっている。

本報告は、舗装の整備効果を向上させるための管理手法の模索を目的とし、ライフサイクルコスト（以下LCC）を考慮した管理水準値を交通量の異なる2つの区間について試算した。その結果、交通量毎でLCCが最低となる最適な管理水準は異なり、LCCを考慮した管理水準を使用することでより効率的かつ効果的な維持管理が可能となることが判った。

キーワード：ライフサイクルコスト(LCC)、舗装マネジメントシステム(PMS)、プロジェクトレベル、管理水準

Road development in Japan has been geared to increasing the total length, toward efficiently meeting the needs of the nation. While roads are indispensable to life and industrial development, road infrastructure development has reached certain level. Today, effective management and maintenance of roads have become important.

This study aims to find a management method to improve the maintainability of pavements. We calculated "management standard values" that incorporate the life cycle cost (LCC) for two road sections with different traffic volumes. We found that the management levels optimal for minimizing LCC differ depending on the traffic volume. Consequently, we found that the use of a management standard which incorporates LCC facilitates effective management and maintenance of roads.

keywords : Life Cycle Cost (LCC), Pavement Management System (PMS), Project Level, Maintenance Level

1. はじめに

舗装の維持修繕の要否は、路面のひび割れやわだち掘れ及び平坦性という路面健全度、また、これらを一元化した総合指標値による決定と道路利用者や沿道住民の苦情から道路管理者が決定しているといえる。これらは、円滑な交通を確保するためのものであり、長期的視点により決定されているものとは言い難い。長期的な事業効果を考慮し、維持修繕箇所の決定を行おうとしても客観的・定量的に説明する手法の確立がなされていないと考えられる。また、近年の厳しい財政事情から、より効率的かつ効果的な維持修繕手法の確立が望まれているところである。

路面の健全度を表す総合指標で一般的に用いられているものにMCI (Maintenance and Control Index : 維持管理指数) がある。MCIにおける維持修繕基準は、補修の実態と道路管理者の視点により設定されている¹⁾。しかし、前述のような背景から、より効果的な路面の維持管理を実現するためには、LCCをも考慮した管理水準の設定が必要である。

本報告は、舗装路面をより効率的かつ効果的に維持するための管理手法の模索を目的とし、LCCが最低となるMCIによる最適管理水準値を求めたので、その結果について考察したものである。

2. 最適管理水準

ここで言う最適管理水準とは、舗装修繕に当たって最も効率的かつ効果的に投資効果を維持するために設ける管理水準である。図-1に示すように、管理水準を上げると、こまめに補修する必要が生じ道路管理者費用は高くなるが、サービスレベルが向上することにより利用者費用は安くなる。一方、管理水準を下げると、補修回数は少なくなり管理するための費用は安くなるが、サービスレベルの低下に伴い、道路利用者の費用は高くなる。これらの和がLCCであり、最小となるところが投資効果の効率的かつ効果的な維持の観点からの最適管理水準である。当然ながら道路利用者が安全で快適に道路を利用するための管理水準を確保する必要があるが、それでいてかつ路面の健全度レベルがどこまで下がったときにサービスレベルを施工初期の段階に復元すればLCCが最小となり一番効率的かつ効果的かということが今後の維持修繕には重要なポイントとなる。

管理者費用: 建設費、維持修繕費等
利用者費用: 車両走行費用、時間損失費用等

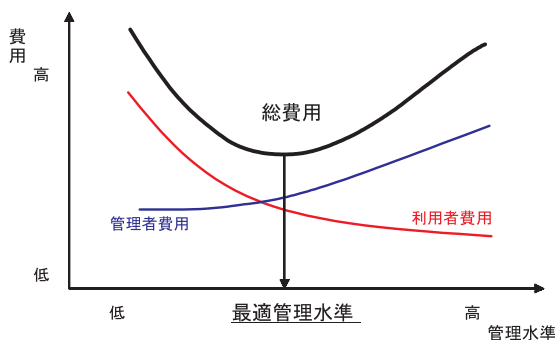


図-1 コストから見た最適管理水準の概念

3. 分析条件

(1) 分析レベル

LCCの算出には、ネットワーク（道路網）レベルとプロジェクト（事業）レベルの基本的な作業レベルおよび運用レベルがある。ネットワークレベルは、管轄する道路網の投資計画やプロジェクトの優先順位決定を行うのに対し、プロジェクトレベルは、選定された事業における最適な工法選定や補修工法の決定が主目的となる。一方、管理水準はプロジェクトの補修時期の決定に影響するものである。つまり、あるプロジェクト区間がどの時点で補修をすればいいのかを把握するということが重要となる。したがって、本研究は、プロジェクトレベルにおけるコスト的最適管理水準を求めることとした。

(2) LCC算出項目

LCCには舗装道路を建設し維持管理していくための道路管理者費用、舗装道路を利用する人が負担する道路利用者費用、舗装道路がおかれた環境が負担する沿道及び地域社会の費用がある。考えられる費用項目の全てについて網羅することが理想であるが、貨幣換算が確立されていないものも多いため、ここでは道路管理者費用と道路利用者費用について算出することとした。算出項目の詳細は以下の通りである。

a) 道路管理者費用

補修費用

ここで言う補修は、舗装の破損を根本的に復元するものとし、打換え、オーバーレイ、切削オーバーレイ

などである。今回はオーバーレイのケースについて補修費用を算出した。

維持費用

維持費用はパッチングやひび割れ補修などの応急的な対策費用を算出した。

b) 道路利用者費用

車両走行費用

路面の健全度が低下するに従い、通過車両の燃費は増加し、タイヤの損耗費等の車両損耗費も増加する。ここでは、路面性状が低下して増加する費用の変化分を損失費として計上する。

工事による損失費用

工事区間を車両が通過することにより通常時に当区間を通過する場合よりも時間が多くかかる。また車両の通過速度は低下し、通常走行の時とは燃費や車両損耗費が変化する。ここでは、これらの費用を工事による損失費として計上する。

4. 検討手法

ＬＣＣ最小となる最適管理水準が求まるまでの一連の流れを図-2に示す。ここでは、ＬＣＣ算出のために必要となる基本条件と、ＬＣＣ算出手法について記す。

(1) 基本条件

a) 管理指標

ＬＣＣ算出に用いる管理指標は、分析対象が一般国道であり一般的に用いられている総合指標値が望ましいこと、また、利用者便益の算出手法が存在することから、MCIを用いることとした。

b) 分析期間

ＬＣＣの分析期間は、そのプロジェクトの寿命とすることが一般的である。しかし、舗装の場合は更新しながら半永久的に使用するため、一概に決めることは困難である。分析期間はＬＣＣを算出するために十分に長い期間が必要と考えられるため、本検討では40年とした。

c) 社会的割引率

ＬＣＣの算出は、分析期間分各年次において行われる。よって、将来のコスト価値を現在のものとする必要がある。ここでは、現在価値化する社会的割引率は4%とした²⁾。

d) 供用性曲線

分析対象の路面健全度が将来的にどのように推移するかを表す将来予測式すなわち供用性曲線は、地域・交通区別に整理されている路面性状調査データに基づいて作成した路面性状予測式を用いた(表-1)。これは、過去2回分の路面性状測定値の変化量を基にして回帰分析を行い設定したものである。なお、MCIは表-1の各路面性状値を基に算出される。

e) 検討対象区間

検討対象区間は、交通量の異なる区間の比較分析を行うため、表-2に示すとおり、同路線の2つの区間とした。

f) 設定管理水準

設定した管理水準は、MCI = 3.0、4.0、4.5、5.0、5.5、6.0、7.0の7ケースとした。路面性状予測式により計算されるMCIが設定した管理水準を下回る年に補修が行われ、路面の健全度が復元する。図-3に示すとおり、管理水準毎にライフサイクルは異なる。管理水準が低ければ分析期間中の補修回数は少なくなるが、サービスレベルは低いということになる。

このライフサイクルで各年次の各費用を算出し累計していく。分析期間分の算出が終了した時点の累計コストがその管理水準のＬＣＣである。これを設定した管理水準毎に算出し、最小となる水準が投資効果の観点からの最適水準ということになる。

表-1 路面性状予測式³⁾

地域区分	舗装計画 交通量区分	わだち掘れ量予測式	ひび割れ率予測式	平坦性予測式
道央・道南	~100台/日	$D_{t+1}=0.991D_t+1.130$	$C_{t+1}=1.210 C_t+0.776$	$S_{t+1}=0.995 S_t+0.105$ ※ $S_{t+1} \leq S_t$ の時、 $S_{t+1}=S_t+0.01$
	100~250台/日	$D_{t+1}=0.991D_t+1.166$	$C_{t+1}=1.210 C_t+0.745$	
	250~1,000台/日	$D_{t+1}=0.991D_t+1.298$	$C_{t+1}=1.210 C_t+0.634$	
	1,000~3,000台/日	$D_{t+1}=0.991D_t+1.699$	$C_{t+1}=1.210 C_t+0.295$	
道北	3,000~台/日	$D_{t+1}=0.991D_t+1.990$	$C_{t+1}=1.210 C_t+0.049$	$S_{t+1}=0.995 S_t+0.085$ ※ $S_{t+1} \leq S_t$ の時、 $S_{t+1}=S_t+0.01$
	~100台/日	$D_{t+1}=1.000D_t+1.258$	$C_{t+1}=1.056 C_t+0.018$	
	100~250台/日	$D_{t+1}=1.000D_t+1.299$	$C_{t+1}=1.056 C_t+0.030$	
	250~1,000台/日	$D_{t+1}=1.000D_t+1.448$	$C_{t+1}=1.056 C_t+0.075$	
道東	1,000~3,000台/日	$D_{t+1}=1.000D_t+1.905$	$C_{t+1}=1.056 C_t+0.213$	$S_{t+1}=0.995 S_t+0.065$ ※ $S_{t+1} \leq S_t$ の時、 $S_{t+1}=S_t+0.01$
	3,000~台/日	$D_{t+1}=1.000D_t+2.236$	$C_{t+1}=1.056 C_t+0.313$	
	~100台/日	$D_{t+1}=1.108D_t+0.769$	$C_{t+1}=1.170 C_t+0.327$	
	100~250台/日	$D_{t+1}=1.108D_t+0.796$	$C_{t+1}=1.170 C_t+0.313$	
道東	250~1,000台/日	$D_{t+1}=1.108D_t+0.896$	$C_{t+1}=1.170 C_t+0.261$	$S_{t+1}=0.995 S_t+0.065$ ※ $S_{t+1} \leq S_t$ の時、 $S_{t+1}=S_t+0.01$
	1,000~3,000台/日	$D_{t+1}=1.108D_t+1.201$	$C_{t+1}=1.170 C_t+0.103$	
	3,000~台/日	$D_{t+1}=1.108D_t+1.423$	$C_{t+1}=1.170 C_t+0.000$	
補修後初期値		5.1mm	0%	1.00mm

ここで D_{t+1} : 1年後のわだち掘れ量(mm) D_t : 測定時のわだち掘れ量(mm)
 C_{t+1} : 1年後のひび割れ率(%) C_t : 測定時のひび割れ率(%)
 S_{t+1} : 1年後の平坦性(mm) S_t : 測定時の平坦性(mm)

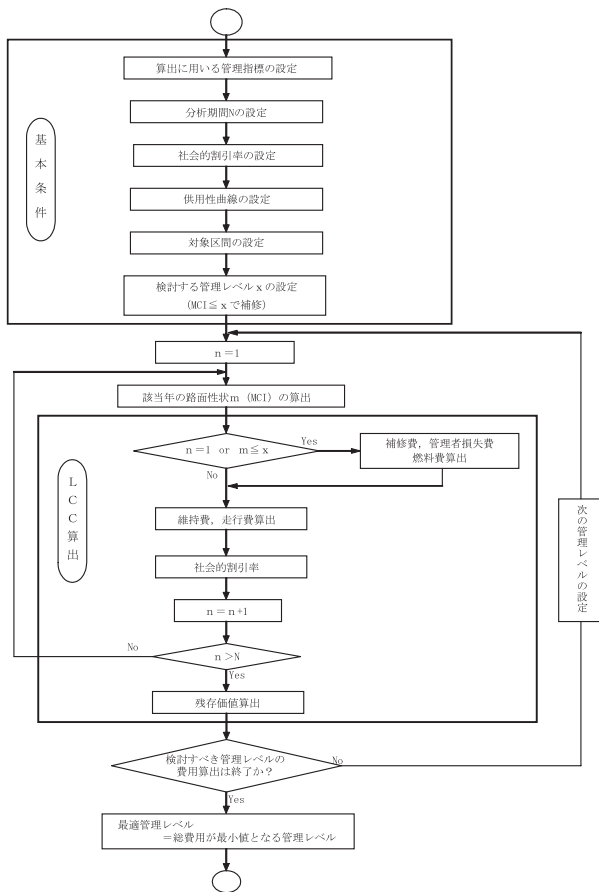


図 - 2 検討手順

表 - 2 検討対象区間

検討ケース	ケース1	ケース2	
路線	R231	R231	
区間	KP=94.2~95.2 (L=1.0km)	KP=108.9~109.9 (L=1.0km)	
交通量 (台/日)	乗用車	1,207	2,937
	バス	59	110
	小型貨物	517	991
	大型貨物	349	1,041
舗装計画交通量区分	250~1,000台/日	250~1,000台/日	
制限速度(km/h)	60	60	

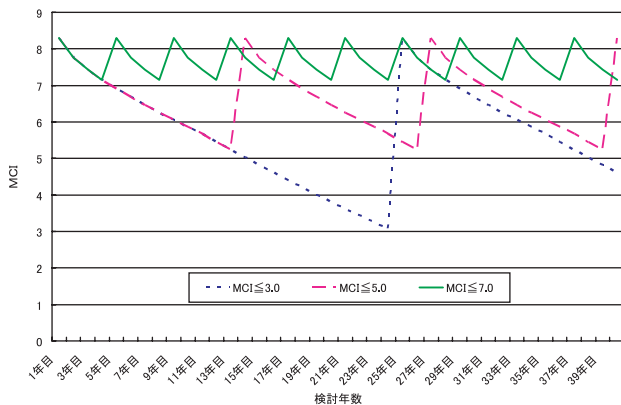


図 - 3 ライフサイクル (ケース1)

(2) 補修必要年次におけるLCC算定

補修必要年次、すなわち1年目と予測式により算出されるMCIが管理水準以下に低下する年のLCCは以下の手順に従って算出した。

a) 道路管理者費用

オーバーレイの補修単価⁴⁾・⁵⁾と補修面積から補修箇所
の補修費用を算出する。

維持費用原単位はMCIと維持費用に関する調査結果による維持費用モデル⁶⁾を用いて算出する(式-1)。この原単位とケーススタディの対象面積から維持費用を算出する。

$$Y = 274.0 - 27.2 * MCI_i \quad \dots \text{式 - 1}$$

ここで、

Y：維持費用原単位 (円/㎡)

MCI_i：i年度のMCI

b) 道路利用者費用

MCI別車両走行費用

MCI別車両走行費用は、算出年次のMCIの時の車両走行費用とMCIが最大となる時の車両走行費用の差とした。補修年次はMCIは最大値となるため、この差は0となる。補修後の最大MCIは路面性状調査データより平均的に約8となるため、図-4・5よりMCI=8の時の走行費用単位を用いることになる。また、検討区間は片側車線のみを施工することとしている。よって、算出に用いる交通量は断面交通量の1/2とした。式-2に具体的な算出方法を示す。

$$UC1 = (a - b) * T1 * 1/2 * L1 * 365 \quad \dots \text{式 - 2}$$

ここで、

UC1：車両走行費用 (円)

a：当該年度MCI・制限速度時の走行費用単位 (円/km、図-4・5参照)

b：最大MCI・制限速度時の走行費用単位 (円/km、図-4・5参照)

T1：小型車及び大型車の断面交通量 (台/日)

L1：施工延長 (km)

なお、対象区間での小型車は乗用車及び小型貨物、大型車はバス及び大型貨物である。

工事による損失費用

補修年次は工事が行われる。よって、工事による損失費用を算出する。なお、工事日数は施工面積を各工

法の日当たり施工量⁵⁾で除して求めた。また、1日の工事時間は平日の9:00~17:00の8時間と仮定し、日当たり交通量が工事時間の間のみ損失を受けるものとした。また、検討区間は片側1車線の2車線区間箇所のため、工事中は片側交互通行が必要と考え、断面交通全てに影響が出るものとした。なお、工事中の走行時間の遅れは2分⁶⁾とし、工事区間の通過速度は通常時制限速度の1/2となると仮定した。規制延長はテーパ部、施工機械・交通安全対策のスペースを考慮し、1日の施工延長+50mとした。時間損失費用の算出を式-3に、走行損失費用の算出を式-4に示す。

$$UC2 = T2 * 8/24 * N * t * c \quad \dots \text{式 - 3}$$

$$UC3 = T2 * 8/24 * N * (d-e) * L2 \quad \dots \text{式 - 4}$$

ここで、

UC2: 時間損失費用 (円)

UC3: 走行損失費用 (円)

T2: 各車種の断面交通量 (台/日)

N: 施工日数 (日)

t: 工事中の走行時間の遅れ (分)

c: 時間価値原単位 (円/台・分、表-3参照)

d: 工事区間通過速度の走行費用原単位 (円/台・km、表-4参照)

e: 通常時通過速度の走行費用原単位 (円/台・km、表-4参照)

L2: 規制延長 (km)

c) 現在価値

計算した各費用を式-5により現在価値化する。

$$PCi = RC * (1 - 0.04(\text{社会的割引率}))^i \quad \dots \text{式 - 5}$$

ここで、

PCi: i年度の現在費用 (円)

RC: 各費用 (円)

i: i年度

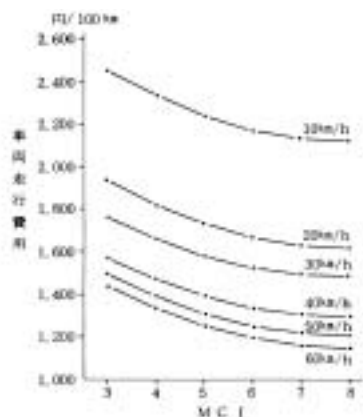


図-4 走行費用とMCI (小型車)⁶⁾

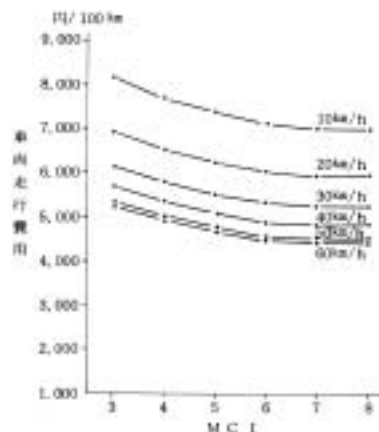


図-5 走行費用とMCI (大型車)⁶⁾

表-3 時間価値原単位³⁾

(単位: 円/台・分)		
車種	平日	休日
乗用車	56	84
バス	496	744
乗用車類	67	101
小型貨物車	90	90
普通貨物車	101	101

表-4 走行費用原単位³⁾

速度 (km/時)	一般道路(市街地) (単位: 円/台・km)				
	乗用車	バス	乗用車類	小型貨物	普通貨物
10	27	81	28	42	55
20	20	71	21	35	43
30	17	67	18	32	39
40	16	66	18	31	38
50	16	66	18	32	38
60	17	66	18	33	39

(3) 補修不必要年次におけるLCC算定

予測式により算出されるMCIが設定した管理水準より上の年には補修されない。したがって、補修費用や、工事中の損失費用は計上されない。よって、前記の維持費用、の車両走行費用を算出し、に示した社会的割引率による現在価値化を行う。

(4) 最終年度(40年目)におけるLCC算定

最終年度は設定する管理水準毎にMCI値が異なる。最終年次に持つ資産価値を評価し、残存価値分として計上することが必要となる。ここでは、簡易的ではあるがこれを考慮するものとし、分析期間の最終年次におけるMCIから4以下になるまでの減価分を比例計算により算出した。

$$RV = MC * (MCI_{40} - 4.0) / (MCI_{max} - 4.0) \dots \text{式} - 6$$

ここで、

RV：残存価値

MC：補修費用

MCI₄₀：最終年度のMCI

MCI_{max}：最大MCI

以上の手法によりMCIによる管理水準毎にLCCを算出し、LCCが最小となる管理水準値を求めた。

5. 分析結果

図-6にケース1の管理者費用の推移を示す。最終年次に下方に折れるのは、残存価値分を控除したためである。40年後の費用に着目すると、MCIが低い順で安価となっていることがわかる。また、MCI=7で補修する場合は、MCI=6で補修する場合の約2倍の費用がかかることがわかる。これは、補修回数がMCI=7で10回でMCI=6の5回（初年度含む）の2倍となっているためである。

図-7に利用者費用の推移を示す。管理者費用とは逆に管理水準を高くした方が安価となることがわかる。利用者費用は路面性状別の車両走行費用と工事中の損失費用であるが、工事中の損失費用の割合が高ければ工事回数が多い管理水準の方が工事回数の少ない管理水準よりも利用者費用が大きくなり、逆に路面性状による走行費用の割合が高ければ、工事回数が多い管理水準の方が小さく考えられる。したがって、本検討ケースでは、この図から路面性状別の走行費用の影響の方が工事中の損失費用よりも大きいと考えられる。

図-8に総コストの推移を示す。図-6・図-7から利用者費用は管理者費用と比較してかなり安価になっている。このため、総コストのグラフ形状は管理者費用の図とほぼ同じとなっている。

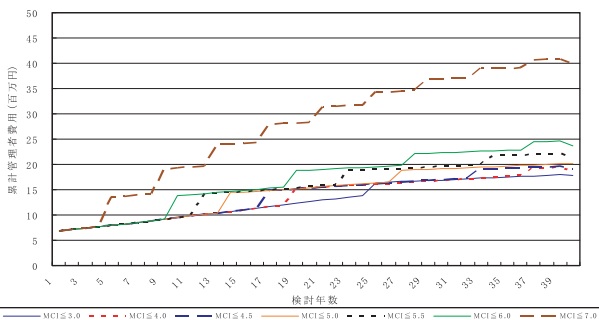


図-6 管理者費用の推移

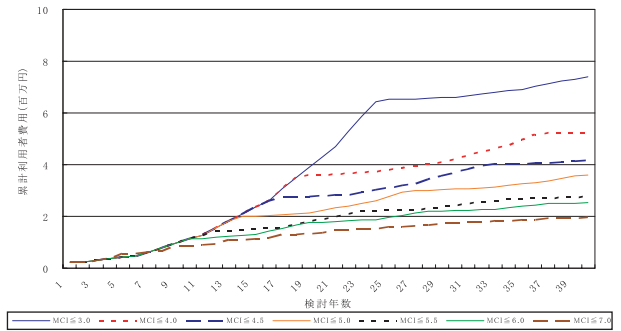


図-7 利用者費用の推移

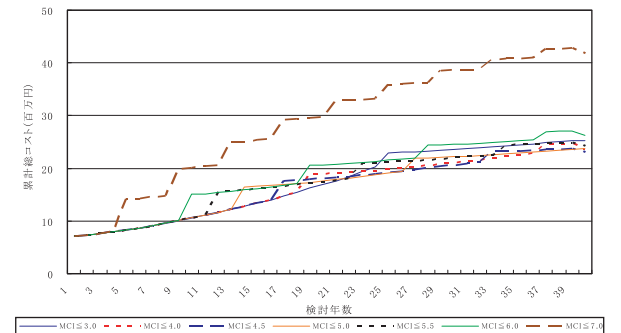


図-8 総コストの推移

分析最終年次までのケース1の管理水準別累計費用を図-9に、ケース2の累計費用を図-10に示す。路面性状予測式は交通区分・地域区分毎に作成しており、両ケースとも同じ区分であること、また、施工面積がほぼ同じであることから、今回の解析では管理者費用にほとんど差は生じていない。また、利用者費用に着目すると、ケース2の方が交通量が多いため、ケース1よりも高価となり、傾きも大きくなっていることが判る。ケース1ではLCC最小となる管理レベルは、MCI=4.5程度、ケース2ではMCI=5.5程度となった。本検討では、交通量の多い方が、LCC最小とするのにはやや高い管理レベルが必要との結果となった。

図11~12に各ケースの費用比率を示す。ケース1・2を比較すると、当然ながら交通量の多いケース2の方が利用者費用比率が高い。また、両ケースとも利用者費用の大半を走行費用が占めていることがわかる。工事中損失費用は施工年次にしか計上されないのに対し、車両走行費は毎年計上されることになる。したがって、走行費用の精度向上がLCC算出の精度向上につながるものと考えられる。

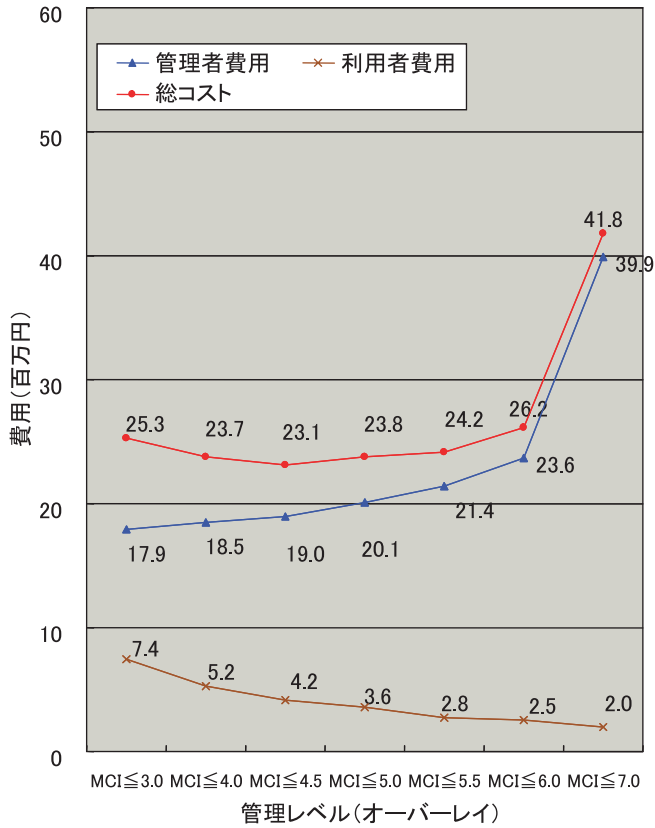


図 - 9 管理水準別費用 (ケース 1)

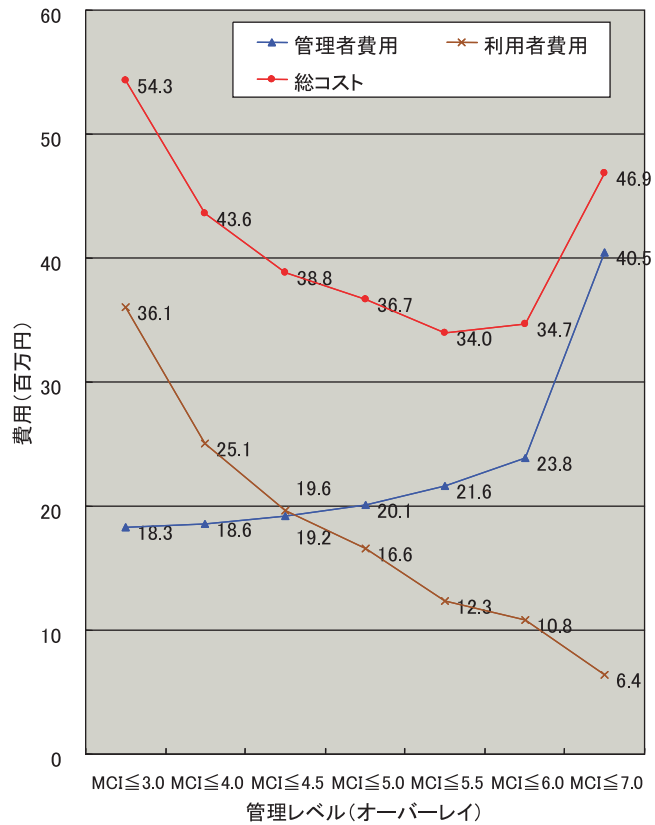


図 - 10 管理水準別費用 (ケース 2)

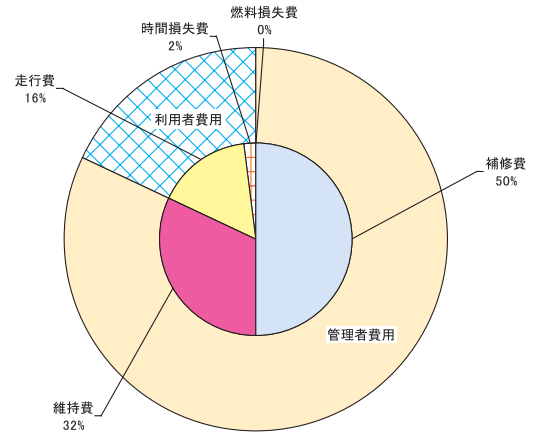


図 - 11 費用比率 (ケース 1)

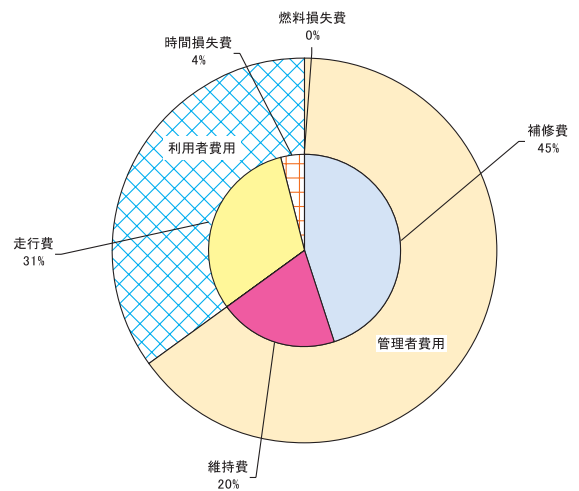


図 - 12 費用比率 (ケース 2)

6. まとめ

北海道の国道においてLCC算定のケーススタディを行い、最適管理水準を求めた結果、以下の事項が明らかになった。

- (1) MCIにより舗装補修を行う複数の管理水準を設定し、それぞれのLCCを算出することで、LCCを最小とする最適な管理水準を求めることが出来た。
- (2) 交通量の異なる区間で比較検討した結果、交通量の多いケースは少ないケースに比べLCCが最小となる最適管理水準は高くなった。
- (3) 交通量の異なる区間で道路管理者費用と道路利用者費用の割合を比較すると、交通量が少ないケースと比較して交通量の多いケースにおける利用者費用割合が高かった。

7. おわりに

今後プロジェクトレベルにおけるLCC算出の精度向上に向けて、個別区間の供用性曲線の作成手法を検討したい。また、限られた予算の中で、投資効果が高い舗装の維持管理を行うためには、舗装修繕箇所の抽出や、優先順位付けを行うことが必要なため、ネットワークレベルにおける最適管理水準についても検討していきたい。さらに、今回の検討では予算制約を考慮しない理想的な管理水準を求めているため、交通量が多い区間の最適管理水準が高いレベルとなった。現実的には予算には限りがあるため、今後、予算制約下における最適管理水準についても検討する必要がある。

参考資料

- 1) 舗装の維持修繕の計画に関する調査研究(1980 第34回建設省技術研究会)
- 2) 道路投資の評価に関する指針(案)(2000)
- 3) 積雪寒冷地における舗装マネジメントに向けた路面性状予測について(2003.3 北海道開発土木研究所 月報 No.598)
- 4) 建設物価(2003.12)
- 5) 土木工事標準積算基準書(平成15年度)
- 6) 舗装の管理水準と維持修繕工法に関する総合的研究論文(1987 第41回建設省技術研究会)



清野 昌貴*
Masaki SEINO

北海道開発土木研究所
道路部
維持管理研究室
研究員



岳本 秀人**
Hideto TAKEMOTO

北海道開発土木研究所
道路部
維持管理研究室
室長