

道路利用者費用を考慮した 寒冷地舗装の維持修繕計画に関する検討

北海道開発土木研究所 岳本秀人^{*1}

北海道開発土木研究所 石田樹^{*1}

北海道開発土木研究所 丸山記美雄^{*1}

北海道開発土木研究所 清野昌貴^{*1}

By Hideto TAKEMOTO, Tateki ISHIDA,

Kimio MARUYAMA, Masaki SEINO

近年我が国において、高度成長期に建設された社会資本の老朽化が進み、その対応に要する費用は近い将来確実に増加・集中していくことが予想される。厳しい財政制約の中で舗装資産を効率的かつ合理的に管理しゆく必要性が大きくなり、その手法の確立が急務になっている。このような中で、舗装マネジメントシステムの必要性について提唱されてきており、ライフサイクル・コスト算定手法および運用方法についての研究が各方面で進められている。

北海道の国道は約 6,400km にわたる膨大な社会基盤であり、限られた予算の中で利用者に対して安全性・快適性等のサービス水準を効率的に確保していく必要がある。

本研究はライフサイクル・コスト分析のケース・スタディを実施し、道路管理者費用に加えて道路利用者費用を考慮した舗装の維持修繕計画の策定手法について検討したものである。

《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)、維持修繕計画

1. はじめに

道路は、国民の生活を支え、産業経済の発展に欠くことができない最も基本的な社会基盤である。舗装道路を長期間に渡り健全に保ち、利用者に快適なサービスを提供するには、限りある予算をより効率よく、かつ有効に運用することが求められる。そのためには、舗装-車両-道路利用者-環境を一つの系とみなし、その中で道路管理者費用(建設費、修繕費等)と道路利用者費用(車両走行費用、工事の影響による損失費用等)を、ライフサイクル・コスト分析を通して最適化する考え方が有効である。この考え方を「舗装マネジメントシステム(Pavement Management System : 以下PMSと略す)」と呼ぶ。

本研究では、プロジェクト・レベルでのライフサイクル・コスト(以下 LCC と略す。)分析のケース・スタディを実施し、舗装の設計期間の見直しによる長寿命化や定期的な舗装修繕を行うことによる LC

C の低減効果を明らかにする。さらに、ネットワーク・レベルでの LCC 分析のケース・スタディを行い、道路利用者費用を考慮した舗装修繕の優先順位付けを行うことによる LCC の低減効果を明らかにする。

2. PMS の概念

PMS は自動車交通の発達が早かったアメリカで 1970 年頃から研究が始められ、現在では多くの国でそれぞれの国情に適したシステムの開発や運用を行っている¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾。

PMS の目的は、限られた予算を最も効率的に活用し利用者に安全快適な舗装道路を提供することである。そのために PMS は、舗装道路の建設(新設あるいは全層打換え)、供用、修繕、供用(下線部は繰返し)、建設(全層打換え)の一連の流れをライフサイクルと考え、各ステージで評価と将来予測を行いな

^{*1}北海道開発土木研究所 道路部 維持管理研究室 TEL011-841-1747

がら、ライフサイクルのトータルコストを最小にする戦略を提供する。

図-1にPMSの概念図を示すとおり、舗装路面劣化状況の定期的測定、結果のデータベース化、当該データに基づく将来の劣化予測、予測と経済評価に基づく維持修繕箇所と工法の選定、評価とフィードバック、という流れとなる。

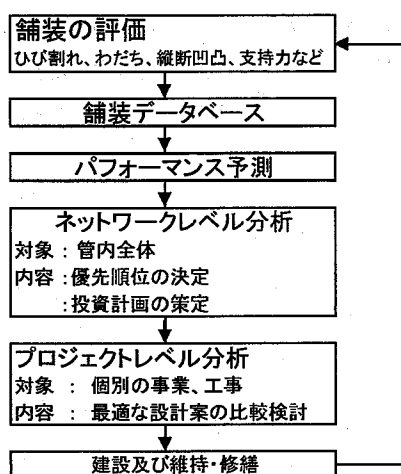


図-1 PMSの概念図

経済評価で考慮する費用は、道路管理者費用、道路利用者費用、沿道住民費用に分けられる。管理者費用には、調査費、建設費、維持修繕費等、利用者費用には、車両走行費用、交通規制による時間損失費用等、住民費用には環境影響等が含まれる。

PMSは、ネットワークとプロジェクトの2つの基本的な作業レベルあるいは運用レベルを持つ手法である。ネットワークレベルでは、投資計画やプロジェクトの優先順位決定を、プロジェクトレベルでは、ネットワークレベルでの実施計画の詳細にわたる計画（設計・工法選定・補修手法選定）を行うことである。

3. 路面性状の評価

北海道開発局は、国道における舗装路面性状の把握のために写-1に示すような路面性状測定車を走行させながら、わだち掘れ、ひび割れ、平坦性について毎年、管理延長の1/3ずつの計測を行っており、3年で全管理延長を計測し、舗装データバンクに蓄積している。

路面の劣化状態を表すものとしては、わだち掘れ量、ひびわれ率及び平坦性（縦断凹凸量の標準偏差）の3指標を用い、それらを統計処理して求められる総合指標であるMCI(Maintenance Control Index：維持管理指数)により、100m区間毎の路面の劣化状態を評価している。MCIは以下の4式により得られる値の最小値が用いられている⁹⁾。



写真-1 路面性状測定車

$$MCI0 = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47S^{0.2} \quad \dots \text{式(1)}$$

$$MCI1 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7} \quad \dots \text{式(2)}$$

$$MCI2 = 10 - 2.23C^{0.3} \quad \dots \text{式(3)}$$

$$MCI3 = 10 - 0.54D^{0.7} \quad \dots \text{式(4)}$$

ここで、

C：ひびわれ率(%)

D：わだちぼれ量(mm)

S：平坦性（縦断凹凸の標準偏差(mm)）

式から分るとおり、完全な路面状況ではMCI = 10となり、値が小さいほど路面状況が悪いことを示す。供用開始直後の舗装路面はMCI = 8～9を示し、望ましい管理水準はMCI ≥ 5、MCI ≤ 4で修繕が必要、MCI ≤ 3で早急な修繕が必要とされている。

現在は、道路維持管理担当者が管内のMCIを参考に毎年の修繕計画を立て、維持修繕を実施しているが、LCC分析までは行われていない。

4. 路面性状予測式の見直し

同一区間の路面性状調査は3年毎に行われるため、路面性状の現在値を把握するためには調査時のデータをもとに、ひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性について、1～3年程度の短期的な将来予測を行って

補正している。予測にあたっては、前回調査データと3年後の調査データの推移傾向から、相関式を設定している。ひびわれ率、わだち掘れ量については、図-2に示す地域別(道央/道南地域、道北地域、道東地域の3区分)及び舗装計画交通量区分別(5区分)に、平坦性については舗装計画交通量区分による傾向に明確な差が見られないことから、地域別に予測式を設定している。

舗装のLCC分析を行うにあたっては、舗装の供用性が長期的にどのように変化していくのかを精度良く予測することが重要である。スパイクタイヤの使用が平成2年に法的規制、同4年には罰則適用となり、以降スパイクタイヤの装着率はほぼ0%となった。これに伴い舗装の劣化傾向は緩やかなものとなり、特に磨耗量は図-3に示すとおり規制前には年間10mm超だったものが、最近では2mm以下に減少している。わだち掘れ量やひび割れ率は、MCIの予測精度への影響が大きいことから、スパイクタイヤ規制後の路面性状調査データと3年後の調査データから回帰分析により表-1に示す予測式を新たに設定しなおした。

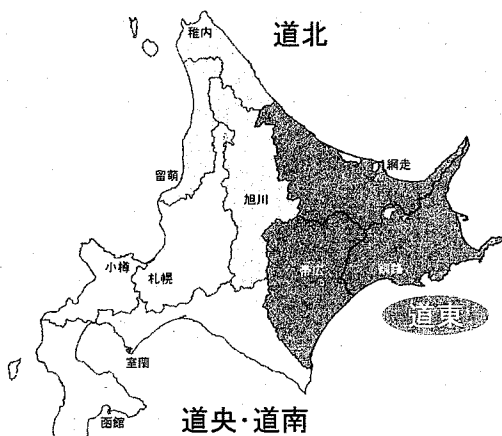


図-2 路面性状予測式の地域区分

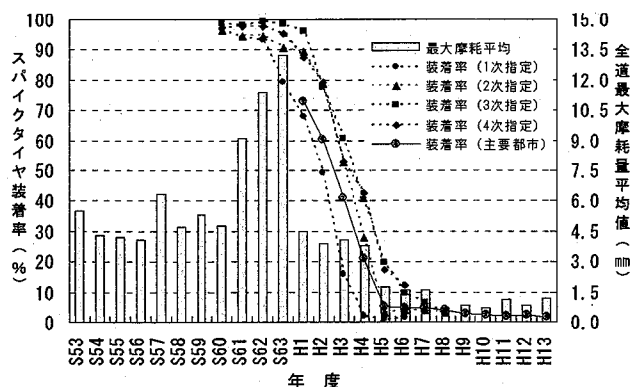


図-3 スパイクタイヤ装着率と磨耗量の経年変化

表-1 わだち掘れ量・ひび割れ率予測式

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
道央・道南	～100台/日	$D_{t+1}=0.991D_t+1.130$	$C_{t+1}=1.210 C_t+0.776$
	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	$D_{t+1}=0.991D_t+1.699$	$C_{t+1}=1.210 C_t+0.295$
	3,000～台/日	$D_{t+1}=0.991D_t+1.990$	$C_{t+1}=1.210 C_t+0.049$
道北	～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	$D_{t+1}=1.000D_t+1.448$	$C_{t+1}=1.056 C_t+0.075$
	1,000～3,000台/日	$D_{t+1}=1.000D_t+1.905$	$C_{t+1}=1.056 C_t+0.213$
	3,000～台/日	$D_{t+1}=1.000D_t+2.236$	$C_{t+1}=1.056 C_t+0.313$
道東	～100台/日	$D_{t+1}=1.108D_t+0.769$	$C_{t+1}=1.170 C_t+0.327$
	100～250台/日	$D_{t+1}=1.108D_t+0.796$	$C_{t+1}=1.170 C_t+0.313$
	250～1,000台/日	$D_{t+1}=1.108D_t+0.896$	$C_{t+1}=1.170 C_t+0.261$
	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%

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(%)

表-2 平坦性予測式

区 分	平坦性予測式
道央・道南	$S_{t+1}=0.995 S_t+0.105$
	※ $S_{t+1} \leq S_t$ の時、 $S_{t+1}=S_t+0.01$
道北	$S_{t+1}=0.995 S_t+0.085$
	※ $S_{t+1} \leq S_t$ の時、 $S_{t+1}=S_t+0.01$
道東	$S_{t+1}=0.995 S_t+0.065$
	※ $S_{t+1} \leq S_t$ の時、 $S_{t+1}=S_t+0.01$
補修後初期値	1.00mm(全地域共通)

S_{t+1} :1年後の平坦性 S_t :測定時の平坦性

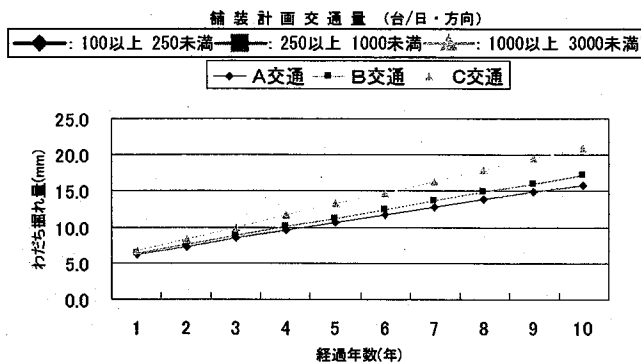
表-3 予測値と実測値の相関係数

道央・道南地域	
相関係数(3年後:実測値と予測値)	
わだち掘れ量	0.8702
ひび割れ率	0.6831
予測MCI	0.7622
道東地域	
わだち掘れ量	0.9075
ひび割れ率	0.9472
予測MCI	0.8943
道北地域	
わだち掘れ量	0.9313
ひび割れ率	0.8688
予測MCI	0.8857

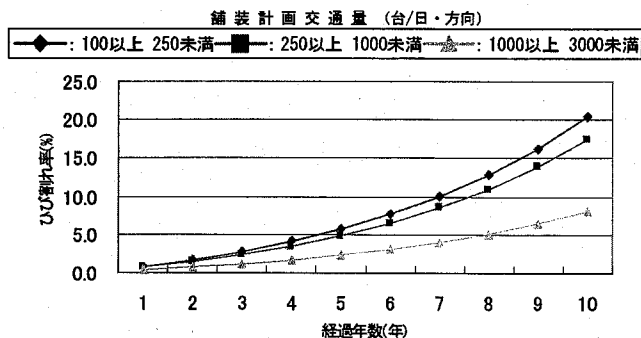
また、平坦性については表-2に示す従来の予測式と大差がなかったことから長期的予測にもそのまま用いることとした。

表-3に地域区分毎の3年後の路面性状の実測値と3年後の予測値についての相関係数を示す。表-3から、道東地域及び道北地域については、わだち掘れ量、ひび割れ率、MCIとも、実測値と予測値の相関係数が0.8以上となり高い相関となった。道央・道南地域のひび割れ率と予測MCIがやや低い相関となり、今後、地域区分の細分化などにより、

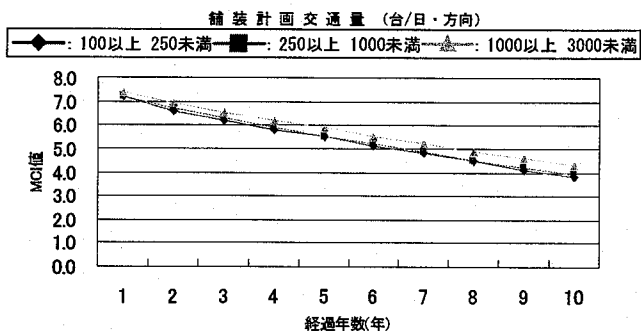
精度向上を図っていかなければならない。以降のライフサイクルコスト分析のケース・スタディは、これらの予測式を用いて行った。



図－４ わだち掘れ量の舗装計画交通量別予測
(道央・道南)



図－５ ひび割れ率の舗装計画交通量別予測(道央・道南)



図－６ 予測MCIの交通量区分別予測(道央・道南)

道央・道南地域を例に舗装計画交通量別に10年後迄のわだち掘れ量、ひびわれ率、MCIを予測した。図－４にわだち掘れ量の予測結果を示すが、重交通路線ほど年数が経過するに従い、わだち掘れ量が大

きい。図－５にひび割れ率の予測結果を示すが、重交通路線ほどひび割れの発生が小さい。これは、重交通

路線ほど舗装断面が厚く設計されているため、舗装の支持力が大きく、大型車交通量が多くてもひび割れの発生が少なくなったと考えられる。さらに、寒冷地特有の低温ひび割れの発生率は舗装厚が厚いほど低くなることも影響していると考えられる。

図－６の予測MCIでは、各舗装計画交通量ともほぼ同じようなMCIの低下傾向を示している。

5. プロジェクトレベル分析

(1) 分析手法及び条件

前述のとおり、プロジェクトレベル分析では、個々の修繕箇所での舗装設計手法や修繕工法の選定が主目的となる。このことから、LCCの算出において考慮すべきことは、設計及び修繕手法を変えて、コストパフォーマンスのよいものを如何に選定するかということである。ここで、LCCの経済比較は表－４に示す3ケースで行った。ここでケースP1及びP2は一般的な設計期間である10年に対し、ケースP3では長寿命化によるLCCの低減効果を確認するため設計期間20年の2種類の舗装断面を想定した。設計期間が長いと舗装構成断面が厚くなり、初期建設費用がより多く必要となるが、長寿命化によって、将来の打換え費用や道路利用者費用を低減できることが期待される。ここで舗装の設計期間とは、「交通による繰返し荷重に対する舗装構造全体の耐荷力を設定するための期間であり、疲労破壊によりひび割れが生じるまでの期間」⁷⁾と定義される。

表－４ プロジェクトレベル分析ケース

ケース	設計期間	修繕工法
P1	10年	アスファルト層総打換のみ
P2	10年	切削オーバーレイ+アス層総打換
P3	20年	切削オーバーレイ+アス層総打換

現場条件は表－５のに示すとおりであり、舗装の設計条件は、路床の設計CBR＝3、舗装計画交通量250台/日以上1,000台/日未満、凍上抑制層による置換え深さ70cm、設計信頼性90%とし、T_A法により表－６に示す設計期間10年と20年の2種類の舗装設計断面を設定した。

表-5 現場条件

工事延長	300m			
幅員	9.50m 2車線 (3.25m×2+1.50m×2)			
交通量	(昼12時間)	交通量 5,814 台/日		
		乗用車	小型貨物車	普通貨物車
	(夜12時間)	交通量 1,163 台/日		
		乗用車	小型貨物車	普通貨物車
走行速度	60km/h			
工期	切削オーバーレイ	8h/day×3日		
	打ち換え	8h/day×9日		

表-6 舗装設計断面

(舗装計画交通量: 250以上1,000未満 台/日・方向)

層名	種類	等値換算係数	設計期間10年		設計期間20年	
			信頼性90%		信頼性90%	
			厚さ	等値換算厚	厚さ	等値換算厚
表層※	密粒度アスコン	1.00	2	2.0	4	4.0
基層	粗粒度アスコン	1.00	5	5.0	5	5.0
上層路盤	As安定処理	0.80	6	4.8	6	4.8
下層路盤	40mm級粗粒材	0.25	55	13.8	60	15.0
凍上抑制層	80mm級粗粒材	0.00	0	0.0	0	0.0
合計			68	25.6	75	28.8
必要等値換算厚			OK	25.2	OK	28.2
設計CBR				3		3

※ 摩耗対策を考慮する場合は等値換算厚に含めない層として表層に摩耗層2cmを追加する。

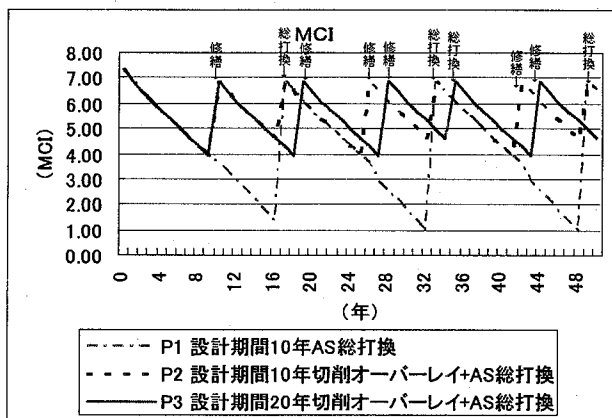


図-7 供用性曲線 (MCI)

各ケースの MCI の推移と舗装の修繕サイクルを表す供用性曲線 (パフォーマンス・カーブ) を図-7 に示す。MCI の変化は表-1 及び 2 に示す予測式を用いて路面性状値を予測し、式(1),(2),(3),(4)のうち最小となる MCI を算定した。路面性状は年々悪化し、安全性やサービスレベルが低下することから、一般に舗装が疲労破壊する前にわだち掘れなどの路面の損傷を補修している。このような路面の補修は行わず、総打ち換えのみを実施するケース P1 に対し

て、ケース P2 及び P3 では $MCI < 4$ となった時点で切削オーバーレイを行うこととし、定期的な路面補修による LCC の低減効果を評価することとした。

舗装断面の寿命、すなわちアスファルト層の全層打換えが必要となる時期は、表-6 に示す設計期間 10 年及び 20 年の舗装設計断面について多層弾性理論解析を行って求めた。MCI の経年変化は路面性状調査データの回帰分析により作成した予測式から平均的な値を求めている。そこで、舗装の破壊年数についても、疲労破壊輪数の割増は行なわず疲労破壊までの平均的な期間を求めた。

舗装の破壊年数は修繕によって、延伸することが可能であるが、現段階では劣化損傷レベル、修繕方法及び破壊年数の関係は定量的に明らかにされていない。今回のケーススタディーにおける舗装修繕は、路面性状のサービス水準の回復を目的とした小規模な修繕とし、構造的な機能回復や強化は図られないと仮定している。

表-7 アスファルト舗装の温度条件と弾性係数

温度条件	1	2	3	4
舗装温度 (°C)	0	10	20	30
該当する月数	1, 2, 3, 12月の4ヶ月	4, 11月の2ヶ月	5, 6, 10月の3ヶ月	7, 8, 9月の3ヶ月
As混合物の弾性係数 (Mpa)	12000	8000	4000	2000

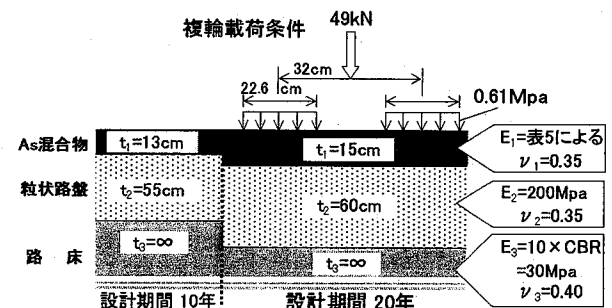


図-8 設計期間10年・20年の舗装断面および各層の材料条件と複輪荷重条件

解析モデルは図-8 に示す 2 種類の舗装断面に、それぞれ複輪荷重条件を加えている。アスファルト混合物の弾性係数は表-7 に示す値を用いており、Amedas の気温データから札幌における月平均気温を求め、舗装設計施工指針⁷⁾の設計事例を参考に月平均舗装温度を推定し、間接引張試験によるアスファルト混合物の弾性係数に関する研究成果⁸⁾を用いて求めた。

これらの値を用いて、AI(アメリカのアスファルト協会)の破壊基準式⁷⁾により疲労破壊輪数を求め、舗装技術基準による舗装計画交通量 1,000 以上 3,000 台/日未満の設計期間 10 年に対応する疲労破壊輪数 1,000,000 回/10 年との比から、破壊年数を求めた。

a) アスファルト混合物の疲労破壊に対する破壊基準式

$$N_f A = 18.4(C) (6.167 \times 10^{-5} \varepsilon_t^{-3.291} E^{-0.854}) \quad \dots \text{式 (5)}$$

ここに $N_f A$: As 層の許容 49KN 輪数

ε_t : As 層下面の引張りひずみ

C : $C = 10^4$

$$M = 4.84(V_b / (V_b + V_v)) - 0.69$$

今回は、北海道内の国道で使用されているアスファルト安定処理の品質管理データからアスファルト量(容積%) $V_b = 9.3\%$ 、空隙率(%) $V_v = 7.2\%$ を用いた。

b) 路床の永久変形に対する破壊基準式

$$N_f S = 1.365 \times 10^{-9} \varepsilon_z^{-4.477} \quad \dots \text{式 (6)}$$

ここに $N_f S$: 路床の許容 49KN 輪数

ε_z : 路床上面の圧縮ひずみ

表-8 アスファルト層および路床の破壊年数

設計期間(年)		10				20			
温度条件		1	2	3	4	1	2	3	4
As 層下面	引張りひずみ ($\times 10^{-6}$)	116	149	219	300	98	127	191	269
	疲労破壊輪数	2,207,873				3,375,656			
	破壊年数(年)	22				34			
	圧縮ひずみ ($\times 10^{-6}$)	351	388	448	501	282	315	367	414
路床上面	疲労破壊輪数	1,555,843				3,783,777			
	破壊年数(年)	16				38			

T_A 法による設計期間 10 年と 20 年の断面におけるアスファルト層と路床の破壊年数は、表-8 に示すとおりであり、設計期間 10 年の断面では路床上面の永久変形により 16 年で破壊し、設計期間 20 年の断面では As 層下面の疲労ひび割れにより 34 年で破壊する予測結果となった。そこで、ケース P1 及び P2 では 16 年毎に、ケース P3 では 34 年毎にアスファルト混合物層の総打ち換えを行うこととした。

LCC の分析期間は、一般的には、あるプロジェク

トの計画から価値がなくなるまでの期間、即ち寿命として捉えられるが、舗装の場合一律に定めることは難しい。ここでは設計期間の 2 倍程度を目安に、分析期間を 50 年とした。

道路管理者費用原単位は、表-9 に示す建設費、修繕費及び改築費を積算資料⁹⁾から作成した。

表-9 道路管理者費用原単位

	工 法	設計期間	
		10 年	20 年
建設費	新設工事費	4,634 円/㎡	5,182 円/㎡
修繕費	表層 t=3cm を切削し、同厚で 1 層舗設する	1,471 円/㎡	1,471 円/㎡
改築費	As 全層を打ち換える	5,193 円/㎡	5,820 円/㎡

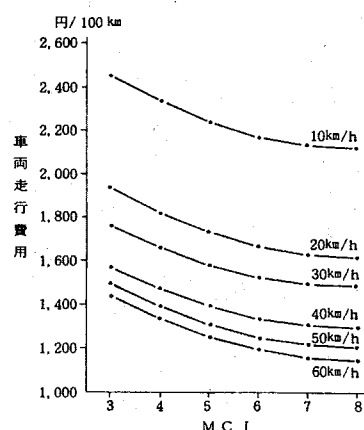


図-9 走行費用とMCI(小型車)

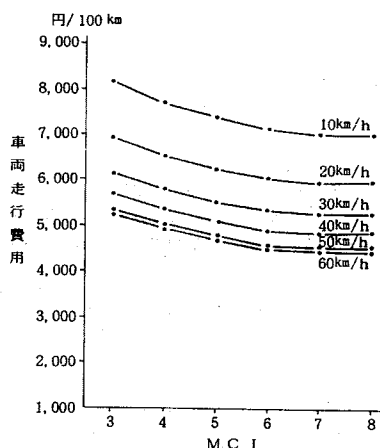


図-10 走行費用とMCI(大型車)

道路利用者費用は、車両走行費、工事による時間損失費用及び燃料損失費用とした。

車両走行費は燃料費と車両損耗費であり、MCI との関係に関する研究事例¹⁰⁾¹¹⁾があるが、プロジェクトレベルにおけるLCC算定の研究事例¹²⁾を参考に、図-9 及び 10 に示す研究成果¹¹⁾から算定した。

図-9及び10から車両走行費は走行速度が低下するほど増大し、路面性状が悪化（MCIが低下）するほど増大する。（MCI<3の場合の車両走行費用が示されていないため、LCC分析にあたってはMCI=3の値を用いた。）

工事による損失については、通行規制に伴う渋滞による時間損失を算定した研究事例¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾があるが、今回のケース・スタディーの現場条件（表-5）で検討した結果、夜間に片側交互通行により工事を行えば渋滞は発生しないことが判った。そこで、工事による損失は表-10走行費用原単位¹⁵⁾、表-11時間価値原単位¹⁵⁾を用い、交互通行による走行時間の遅れ¹⁰⁾を2分、さらに60km/hの走行速度が工事区間では20km/hに低下すると仮定して算出することとした。

表-10 走行費用原単位

一般道路(市街地)		(単位：円/台・km)			
速度 (km/時)	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

表-11 時間価値原単位

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

(2) プロジェクトレベル分析結果

道路管理者費用の算定結果は図-11に示すとおり修繕回数が最も多いケースP2(10年設計/切削オーバーレイ+総打換え)で最も高価となり、設計期間を20年としたケースP3は初期の建設費はやや高価となるが、舗装破壊までのサイクルタイムが長くなり、総打換え回数が少ないため将来の修繕および打換え費も含めると最も安価となった。また、路面性状が悪化しても修繕を行わないケースP1でも、修繕費が削減されケースP3と同程度のコストとなる。他方、車両走行費用の算定結果は図-12に示すとおりケースP1で際立って高くなる。

これは、ケースP1では途中で修繕が行われず、破

壊が起こるまで供用し続けるため、MCIが一般的管理レベルを超えて大きく低下し(図-7)、サービスレベルの低下によって走行費用の増大を招くためである。

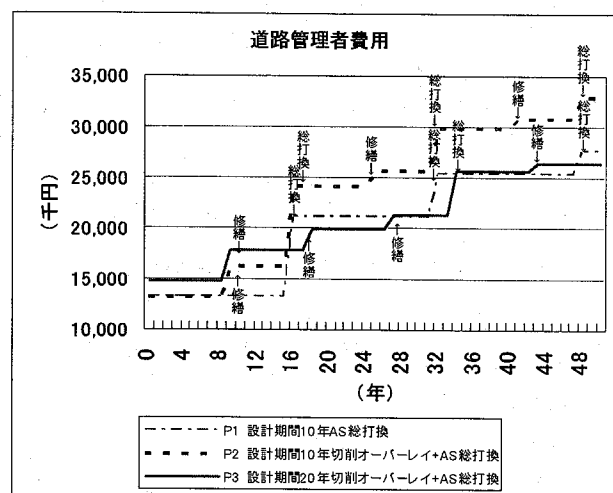


図-11 道路管理者費用

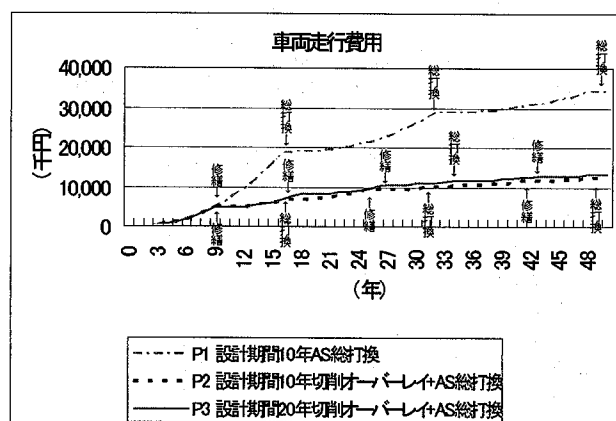


図-12 車両走行費用

工事の交通規制による損失の算定結果は図-13に示すとおり、修繕回数が最も多いケースP2で最も高価となり、ケースP3で最も安価となった。ケースP1は修繕回数が最も少ないが全ての工事が総打換えで規制期間が長いいため、最も安価とはならない。

道路利用者費用全体（車両走行費用+交通規制損失費用）では図-14に示すとおり、ケースP1が際立って高く、ケースP2とケースP3は同程度である。道路管理者費用と道路利用者費用のトータルコストを図-15に示す。ケースP3が最も安く、舗装を長寿命化し、定期的な小修繕を繰返しながらの供用でLCCの縮減が可能である事が示唆された。

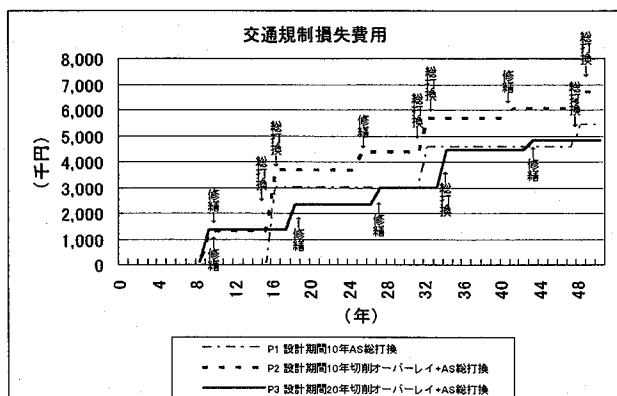


図-13 交通規制損失費用

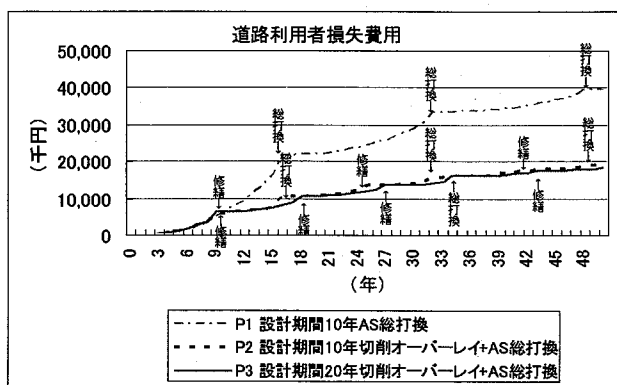


図-14 道路利用者費用

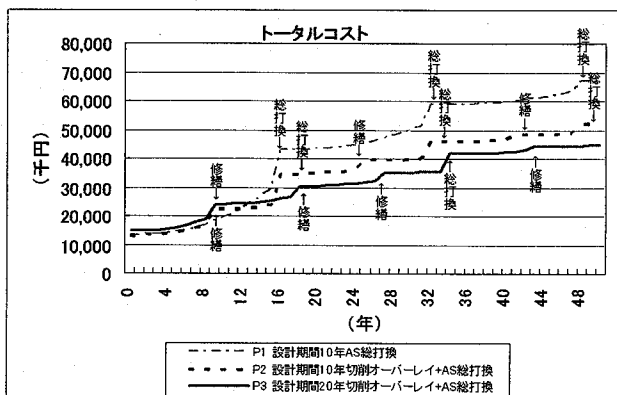


図-15 トータル・コスト

6. ネットワークレベル分析

(1) 分析手法及び条件

ネットワークレベル分析の目的は、道路管理者が、管轄する道路網の中で、どこを、いつ、修繕すればよいのかを明らかにすることである。ここでは、北

海道内のモデル地域を対象にネットワークレベルでのライフサイクルコスト分析のケーススタディを行い、舗装修繕箇所の優先順位選定手法について検討した。分析の基礎条件は以下のとおりである。

○対象：分析対象地域の国道のアスファルト舗装道路網5路線 延長257km (図-16)

○交通量：平成11年度道路交通センサスの24時間平均交通量(表-12)

○利用者費用：車両速度50km/h時のMCI別走行費用(図-9、10)

○修繕工法：路面切削+オーバーレイ
(施工費=1,500円/㎡)

○社会的割引率：4%¹⁰⁾

○分析期間：20年間

○評価区間単位：100m

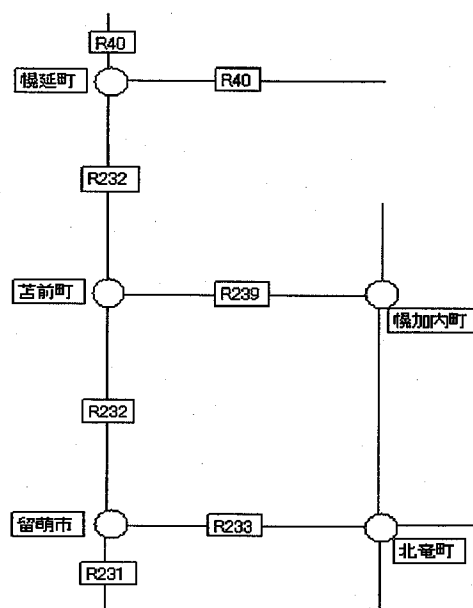


図-16 分析対象道路網

表-12 交通量

	小型車	大型車	全車
40号	1,797	907	2,704
231号	4,585	299	4,884
232号	4,400	547	4,947
233号	5,842	3,975	9,817
239号	836	297	1,133

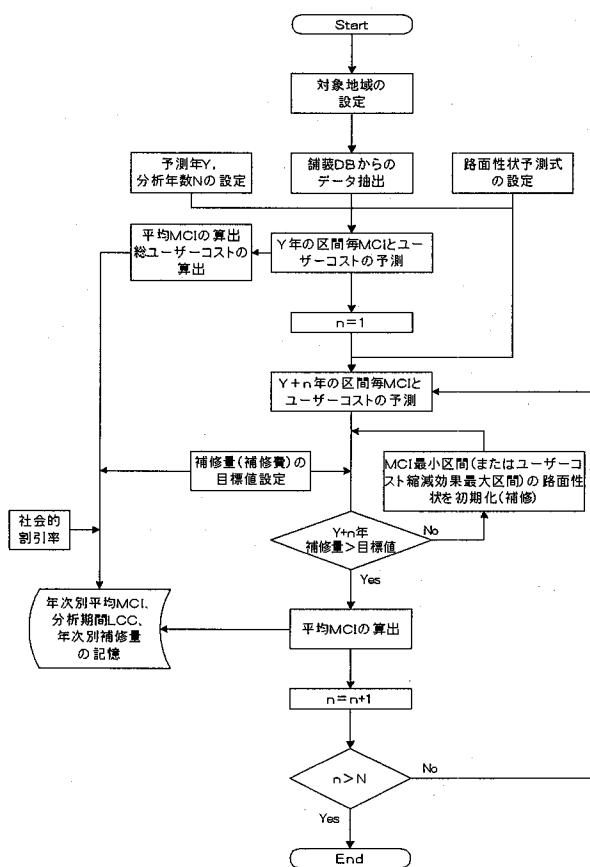
資料：H11センサス(留萌開建管内平均)

以上の基礎条件のもとで、表-13の2ケースを設定した。ケースN1は路面性状が悪い(MCIが低い)箇所を優先して順次修繕を行うものであり、現在概ねこの考え方を基本的として現場の個別状況も考慮して修繕箇所が決定されている。ケースN2は

今回提案する新たな優先順位選定手法であり、修繕による利用者費用削減効果が大きい箇所を優先して修繕を行うものである。ここで、年間修繕量は固定し、500 千㎡（7 億 5 千万円相当）の範囲で優先順位が高い箇所を実施する。

表－13 ネットワークレベル分析ケース

ケース	条 件
N1	年間の修繕量(＝予算)を固定し、MCIの低い区間から順次修繕する
N2	年間の修繕量(＝予算)を固定し、修繕後の利用者費用削減量が大きい区間から順次修繕する



図－17 ネットワークレベル分析フロー

分析のフローを図－17に示す。

具体的手順は以下のとおりである。

- ①全延長 257km で評価区間 100m 毎に路面性状予測式で1年後の路面性状値を予測
- ②予測値から評価区間毎の MCI を算出
- ③評価区間毎の道路利用者費用を算出
(図－9及び10)
- ④評価区間の修繕後(MCI=8.3 とする)の利用者費用

を算出

⑤舗装修繕による道路利用者費用削減額を③－④により算定する。

⑥全ての評価区間を修繕による利用者費用削減額が多い順または MCI の低い順に並べる

⑦リストの上から年間修繕量の限度まで修繕。

⑧修繕した区間の MCI を初期化(MCI=8.3)

ステップ①に戻る。これを 20 年後まで繰り返し 20 年間のトータルコストを比較した。

舗装修繕による道路利用者費用削減額の算定例を表－14に示している。MCI が低く、交通量が多いほど、道路利用者に対する舗装修繕による効果が高いと言える。

表－14 舗装修繕による道路利用者費用削減額の算定例

①小型車交通量(台/日)		4,400		5,842	
②大型車交通量(台/日)		547		3,975	
区 間		a	b	c	d
修繕前	③MCI	3.0	5.0	3.0	5.0
	④走行費用原単位 (円/台・100m)	1.49	1.30	1.49	1.30
	⑤走行費用 ④×①(千円/日)	6.56	5.72	8.70	7.59
	⑥走行費用原単位 (円/台・100m)	5.30	4.80	5.30	4.80
	⑦走行費用 ⑥×②(千円/日)	2.90	2.63	21.07	19.08
	⑧修繕前走行費用(⑤+⑦)	9.46	8.35	29.77	26.67
	⑨MCI	8.3		8.3	
修繕後	⑩走行費用原単位 (円/台・100m)	1.20		1.20	
	⑪走行費用 ⑩×①(千円/日)	5.28		7.01	
	⑫走行費用原単位 (円/台・100m)	4.50		4.50	
	⑬走行費用 ⑫×②(千円/日)	2.46		17.89	
	⑭修繕後走行費用(⑪+⑬)	7.74		24.90	
⑮利用者費用削減額 ⑧－⑭(千円/日)		1.72	0.61	4.87	1.77
⑯ ⑮×365日 (千円/年)		628	223	1,778	646

(2) ネットワークレベル分析結果

ケース N1 とケース N2 の2年目の舗装修繕箇所の一部（優先順位1番目～20番目）を一覧表として表－15に示す。MCI が低い順に修繕箇所を選定したケース N1 の場合、上位に選定されている箇所であっても交通量が少ない国道 239 号では、舗装修繕による道路利用者費用削減額が比較的低い。一方、道路利用者費用の削減額が大きい順のケース N2 の場合、他の路線と比較して交通量が多い国道 233 号が上位を占めている。

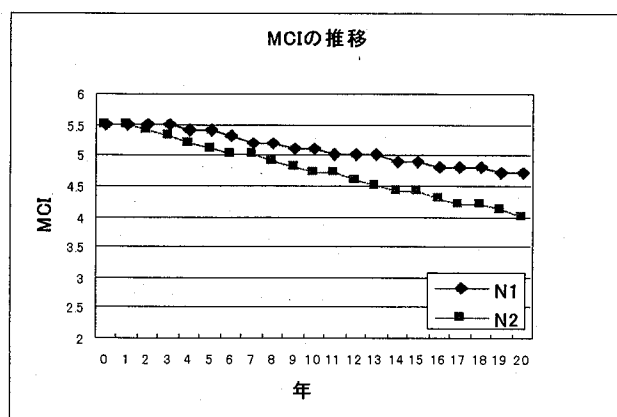
また、N1 ケースでは、MCI の低い順に修繕を実施していることから表－15に示す2年目においては、

MCI が 2.70 を下回る箇所はない。一方、道路利用者
費用削減額が大きい順に補修する N2 ケースでは交
通量が少ない路線は補修対象となっていないため、

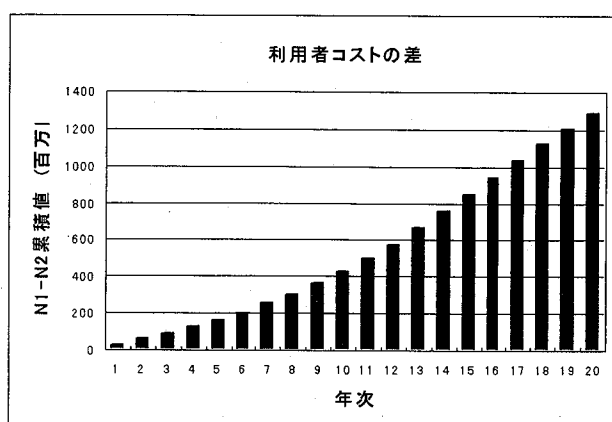
MCI の最低値は国道 239 号において 1.21 まで低下し
た。

表一 15 優先順位リスト (2 年目)

優先 順位	N1 ケース (MCI の低い順)					N2 ケース (利用者費用削減量の大きい順)				
	路線	測点	MCI	交通量 (台/日)	費用削減額 (千円/日)	路線	測点	MCI	交通量 (台/日)	費用削減額 (千円/日)
1	232	65.3~ 65.4	2.70	4,947	625	233	34.4~ 34.5	4.89	9,817	704
2	239	277.4~ 277.5	2.72	1,133	175	233	38.6~ 38.7	4.89	9,817	704
3	40	172.8~ 172.9	2.76	2,704	455	233	47.9~ 48.0	4.89	9,817	704
4	40	173.9~ 174.0	2.76	2,704	455	233	50.6~ 50.7	4.89	9,817	704
5	40	174.7~ 174.8	2.76	2,704	455	233	33.8~ 33.9	4.92	9,817	687
6	40	179.5~ 179.6	2.76	2,704	455	233	43.6~ 43.7	4.93	9,817	682
7	40	197.8~ 197.9	2.76	2,704	455	233	43.5~ 43.6	4.97	9,817	664
8	40	200.7~ 200.8	2.76	2,704	455	233	35.6~ 35.7	5.00	9,817	649
9	40	201.1~ 201.2	2.76	2,704	455	233	34.6~ 34.7	5.04	9,817	633
10	40	201.7~ 201.8	2.76	2,704	455	233	34.8~ 34.9	5.04	9,817	633
11	40	202.3~ 202.4	2.76	2,704	455	233	48.0~ 48.1	5.04	9,817	633
12	40	202.5~ 202.6	2.76	2,704	455	233	50.5~ 50.6	5.04	9,817	633
13	232	123.1~ 123.2	2.77	4,947	625	232	122.4~ 122.5	1.86	4,947	625
14	232	159.3~ 159.4	2.83	4,947	625	232	119.9~ 120.0	2.09	4,947	625
15	232	165.1~ 165.2	2.83	4,947	625	232	65.4~ 65.5	2.46	4,947	625
16	232	165.5~ 165.6	2.83	4,947	625	232	89.9~ 90.0	2.46	4,947	625
17	232	182.4~ 182.5	2.83	4,947	625	232	120.0~ 120.1	2.58	4,947	625
18	232	183.6~ 183.7	2.83	4,947	625	232	65.3~ 65.4	2.70	4,947	625
19	232	183.7~ 183.8	2.83	4,947	625	232	119.8~ 119.9	2.70	4,947	625
20	232	102.5~ 102.6	2.83	4,947	625	232	124.4~ 124.2	2.70	4,947	625
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...



図一 18 管内平均 MCI の推移



図一 19 道路利用者費用の差 (累積値)

表-16 ネットワークレベル分析結果

ケース	20年後 平均MCI	20年間コスト比較(億円)		
		管理者	利用者	総コスト
N1	4.7	101	89	190
N2	4.0	101	76	177
差	0.7	0	13	13

次に、管内平均 MCI の推移を図-18に示す。20年後の管内全路線平均の MCI は、修繕の優先順位をユーザーコスト削減量の多い区間からとした場合のケース N2 が優先順位を MCI の低い区間からとした場合のケース N1 に比べ0.7程度低下している。

次に両ケースの道路利用者費用の差（累計値）を図-19に示す。上述のとおり N2 ケースは管内平均 MCI でケース N1 に劣るものの、利用者コストでは逆に有利な結果となっている。

表-16に両ケースのネットワークレベル分析結果の比較を示す。道路管理者費用は舗装修繕費用であり、年間の舗装修繕量を固定しているため、両ケースとも同額となっている。道路利用者費用は、最良の時（MCI ≥ 8）との相対費用であり、対象路線全体の合計額である。

20年間で101億円の道路管理者費用の投資に対して、N2 ケースでは道路利用者費用が N1 ケースと比較して13億円のコスト削減となった。

道路利用者費用算出結果の精度や信頼性の評価については今後の課題であるが、算出の基礎データである路面性状調査データの有効桁数が2～3桁程度であることから、算定された道路利用者費用の有効桁数も2桁程度と考えられる。

以上の結果から、道路利用者費用は路面性状と交通量の影響を受け、これらを考慮した舗装修繕箇所の優先順位付けを行うことによって LCC の低減が可能であることが示唆された。

5. まとめ

今回、北海道の国道網における路面性状データをもとに、LCC 分析のケース・スタディを実施した結果以下の事項が確認された。

(1) 今回、スパイクタイヤ使用規制以降の路面性状

調査データを用いて、MCI 値の予測精度への影響が大きいわだち掘れ量・ひび割れ率予測式の見直しを行った。地域区分別におけるの路面性状値の3年後の実測値と3年後の予測値の相関係数は0.68～0.94と良好な相関が得られた。

(2) プロジェクトレベル分析のケース・スタディの結、舗装構成の強化による長寿命化と定期的な路面補修による LCC の低減効果が確認された。

(3) ネットワークレベル分析のケース・スタディの結果、MCI が低くかつ交通量が多い路線ほど舗装の修繕による道路利用者費用の低減効果が大きく、このコスト低減額が大きい箇所を優先した舗装修繕箇所の決定が LCC の低減に有効であることが確認された。

5. おわりに

PMS の実用化に向けては、舗装の供用性予測の精度向上が重要である。長期予測の精度向上に関する研究成果¹¹⁾の手法を用いた予測式による LCC 算定のケース・スタディーも実施しており、この結果も踏まえて、修繕工法、混合物の種類、舗装構造、気象条件、交通条件などの条件に応じた予測式を検討し、精度向上に取り組みたい。特に、プロジェクトレベルでは、個別箇所の現場条件を十分に反映した予測手法が課題である。

また、今回のプロジェクトレベルにおけるケース・スタディーで用いた供用性曲線は平均的な劣化傾向や破壊年数を示したものであるが、現実の舗装のパフォーマンスは大きなばらつきを有する。今後、このようなばらつきを考慮して、路面性状予測式、破壊年数の算定方法や LCC 分析結果の精度の評価について検討する必要がある。

また、今回の検討では道路利用者費用のうち沿道住民が負担する費用（騒音、振動、大気汚染等）は、MCI との関係が不明で費用換算も難しいため考慮していない。今後、考慮すべき各費用の算定方法を確立し、解析精度を高めることが求められる。

さらに、経済性の観点に加えて安全性の観点から、

最低限確保すべき管理水準の検討も重要であり、積雪寒冷地の気象特性を考慮した検討を進め、合理的な舗装の維持修繕計画策定手法の確立を目指したい。

参考文献

- 1) Haas,R. Hudson,W.R. Zaniewski,J. : Modern Pavement Management System, Krieger Publishing Company, Malabar FL, 1994
- 2) Knepper,S. : Development of a Pavement Management System in Germany , 5th International Conference on Managing Pavements , 2001
- 3) Gryteselv,D. Haugodegard,T. and Sund,E.K. : The New Norwegian Pavement Management System , 5th International Conference on Managing Pavements , 2001
- 4) Lang,J.M. and Potucek,J.M. : Pavement Management Systems in Sweden , 5th International Conference on Managing Pavements , 2001
- 5) Finnish National Road Administration : Road Condition Measurements and Pavement Management in Finland , FinnRA Reports , 1993
- 6) 舗装の維持修繕計画に関する調査研究 (1982) 第 35 回建設省技術研究会
- 7) 舗装設計施工指針(2001)、日本道路協会編
- 8) 笠原、久保、菅原:Estimation In Situ Elastic Moduli of Pavement Structural Layer with Falling Weight Deflectometer Deflection Bason, 6th Interenational Conference on Structural Design of Asphalt Pavement, Proc. Vol. 1, 1987, pp. 590~596
- 9) 積算資料(2002)、社団法人経済調査会
- 10) 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 40 回建設省技術研究会
- 11) 安崎、片倉、伊佐:舗装の供用性と車両走行費用に関する検討、第18回日本道路会議論文集、pp710~711
- 12) 谷口聡、吉田武:舗装工事におけるプロジェクトレベルのLCC算定法に関する研究、土木学会舗装工学論文集 第7集、pp22-1~22-10, 2002. 12
- 13) 建設土木研究所舗装研究室:舗装のライフサイクルコストの解析、道路、pp42~44、1999. 10
- 14) 久保和幸:舗装の維持管理 アスファルト、39-188, pp4~9, 1996
- 15) 道路投資の評価に関する指針(案)(2000)、道路投資の評価に関する指針検討委員会編
- 16) 谷口聡、伊藤正秀、野村敏明、阿部忠行:舗装データベースを用いた供用性曲線作成手法に関する研究、土木学会舗装工学論文集 第8集、pp99~106、2003. 12

PAVEMENT MAINTENANCE PLANNING IN COLD REGION WITH ROAD USER COSTS ANALYSIS

In Japan, many infrastructure elements built during the era of rapid economic growth have become dilapidated in recent years. In the near future, their repair, reconstruction, and maintenance will be necessary, and the costs for those purposes will increase significantly. Pavements must be managed in an efficient and rational manner with a limited budget, and the development of method to enable such management is imminent.

In response, there is a call for introducing the concept of Life-Cycle Cost Analysis (LCCA) and a Pavement Management System (PMS). Methods for the LCCA and those for operation of the PMS are being developed in various engineering subspecialties.

The national highways in Hokkaido, whose length totals about 6400km, are a huge infrastructure for the region. Under the current strict budget situation, the level of service needs to be efficiently maintained to afford sufficient driving safety and comfort.

We practiced case studies of the life-cycle cost analysis with road user costs and discussed procedure of the planning method for pavements repair and maintenance.