

改質Ⅱ型混合物舗装の経済性評価と適用手法に関する検討

丸山 記美雄¹・岳本 秀人²

¹正会員 独立行政法人北海道開発土木研究所（〒062-8602札幌市豊平区平岸1-3）

²正会員 独立行政法人北海道開発土木研究所（〒062-8602札幌市豊平区平岸1-3）

本検討の目的は、改質Ⅱ型混合物を舗装の長寿命化対策として使用した際の、長期供用性と経済性に関して評価を加えて、ネットワークレベルでの適用方針を示すことである。

追跡調査データをもとに、長期供用性の定量的評価を試みた結果、改質Ⅱ型混合物は修繕間隔を伸ばし、長寿命化対策として有効であることを確認した。更に、解析期間40年間のライフサイクルコスト解析により、道路管理者費用、道路利用者費用共に縮減可能で経済的にも有効な対策であることを示し、効率的な適用方針も示した。

Key Words: long-life pavements, modified asphalt, life-cycle-cost analysis

1. はじめに

厳しい財政状況の下、公共事業の執行を通じてより一層効率的な社会資本整備を進めるために、舗装事業においてもコスト縮減への取り組みが望まれている。そのような中、従来のように初期工事費に重点をおいた舗装工種の選定手法に限らず、維持管理費や利用者の便益も考慮して、それらの合計であるライフサイクルコスト（以下、LCC）を縮減する手法の活用が期待されている。そのような手法を採用するには、長期的な供用性や経済性に関する効果を正しく分析し、評価できる客観的な評価手法を確立することが必要であり、適切に適用を図る手法に関しても検討を行う必要がある。

北海道の国道舗装においては、補修原因の大半がわだち掘れによるものであり、改質Ⅱ型混合物によってわだち掘れを抑制することで舗装の長寿命化が可

能となり、維持修繕回数や工事規制回数を減らせることから、LCCの縮減効果が期待できる。そこで、本検討では、改質Ⅱ型混合物の長期供用性を客観的に評価し、初期建設から維持管理までを含んだ経済性評価を試みた。さらに北海道の国道ネットワークレベルにおける適用手法に関して検討を加えた。改質Ⅱ型以外の長寿命舗装へも準用可能な評価手法の形態としてここに報告するものである。

2. 長期供用性の評価

(1) 追跡調査と評価手法の概要

改質Ⅱ型の長期供用性を検討する目的で、平成7年度に表-1に示す道内国道14箇所を追跡調査箇所が設けられている。追跡調査箇所では、表層4cmまたは5cmに耐流動対策混合物として改質Ⅱ型混合物を舗設し、その同一車線に隣接した区間の表層4cmまたは5cmには通常用いるストアス混合物（st80-100）が舗設されている。各混合物の目標粒度を表-2に示す。各区間のわだち掘れ量を毎年5月と10月の年2回追跡調査すると共に、ひび割れの発生が確

表-1 改質Ⅱ型混合物試験施工箇所

路線名	箇所名	車線数
一般国道12号	奈井江町奈井江	片側2車線
一般国道36号	恵庭市柏木	片側2車線
一般国道275号	新十津川町新十津川	片側1車線
一般国道337号	札幌市山口	片側2車線
一般国道5号	小樽市征里	片側2車線
一般国道36号	苫小牧市植苗	片側2車線
一般国道36号	苫小牧市樽前	片側1車線
一般国道12号	旭川市4条通	片側2車線
一般国道38号	富良野市東山	片側1車線
一般国道237号	旭川市神楽	片側2車線
一般国道38号	幕別町千住	片側1車線
一般国道38号	浦幌町万年	片側1車線
一般国道39号	愛別町中愛別	片側1車線
一般国道5号	小樽市若竹	片側2車線

表-2 混合物の目標粒度

フルイ目	改質Ⅱ型混合物	ストアス混合物
通過	19mm	100
	13.2mm	97
	4.75mm	62
重量	2.36mm	45
百分率	600μm	41
	300μm	30
	150μm	18
%	75μm	10

認められた場合には適宜ひびわれ調査を実施している。

追跡調査結果をもとに、改質Ⅱ型混合物の長期使用性をわだち掘れ、ひび割れ率、MCIの指標によって評価し、パフォーマンスカーブの設定を行った。

(2) わだち掘れ評価

追跡調査箇所のでだち掘れ量と大型車交通量の関係を図-1に示す。

改質Ⅱ型混合物は標準ストア混合物に比べてわだち掘れが小さく、抑制効果が確認できる。抑制効果を図中に示した回帰式の傾きから評価すれば、改質Ⅱ型混合物はわだち掘れ量を標準ストア混合物の約半分に抑制できるといえる。

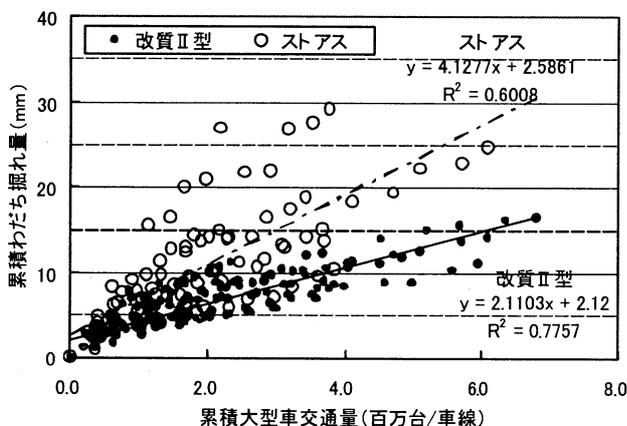


図-1 わだち掘れのパフォーマンスカーブ

表-3 ひびわれ発生箇所と発生状況

ひび割れ発生箇所	発生時期	発生までの経過年数	改質Ⅱ型混合物舗設区間		標準ストア混合物舗設区間			
			舗設延長(m)	発生延長(m)	舗設延長(m)	発生延長(m)	発生比率(%)	
R275号 新十津川町新十津川	H10	約3年	80	39.5	49.4	80	0	0
R38号 富良野町東山	H12	約5年	80	5	6.3	80	0	0
R38号 幕別町千住	H12	約5年	100	31	31	100	0	0
R38号 浦幌町万年	H13	約6年	100	80	80	100	0	0

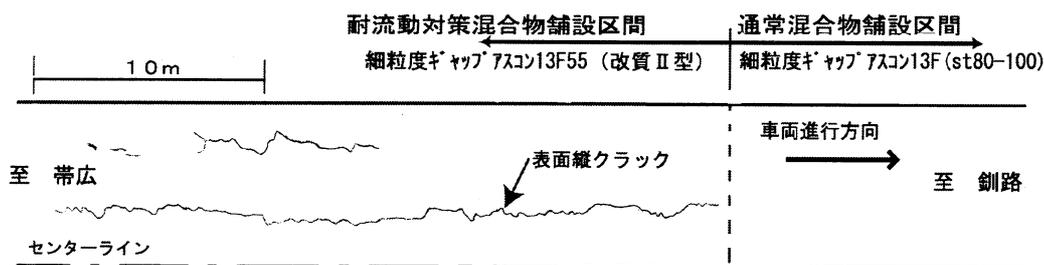


図-2 ひびわれ発生状況図 (R38号 幕別町千住)



写真-1 採取コアのひび割れ状況

(3) ひびわれの評価

施工後6年経過時点までに、試験施工箇所の内、表-3に示す4箇所の改質Ⅱ型混合物舗設区間において、わだち部に図-2に示す様な縦断方向のひびわれが発生している。隣接する標準ストア区間にはひび割れの発生が見られない。

ひび割れ部から採取したコアの写真を写真-1に示す。ひび割れは表面から下方向に向けて入っており、わだち割れ、縦表面ひび割れと言われるひび割れ^{1),2)}であると判断できる(以下、本文では縦表面ひび割れと呼ぶ)。

縦表面ひびわれが発生した箇所におけるひび割れ発生比率算出結果を表-3に示している。ここで、ひび割れ発生比率とは、舗設延長に対して縦表面ひび割れが発生している延長の比として独自に定義した指標であるが、縦表面ひび割れが発生した区間では6.3~80%の延長比率でひびわれが発生していることが分かる。なお、縦表面ひび割れ発生箇所に共通する条件は片側1車線箇所という事であり、車輪通過位置が集中しやすい片側1車線箇所に縦表面ひびわれが発生しやすい傾向があると考えられる。

縦表面ひび割れの発生原因は諸説あり多くの要因が影響すると考えられるが、わだち部に発生することから車輪走行が影響要因の一つであること

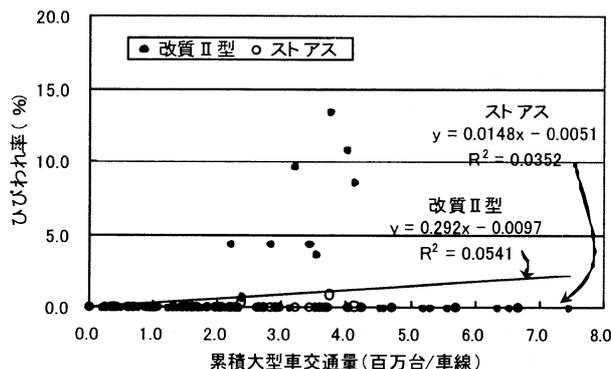


図-3 ひび割れのパフォーマンスカーブ

は確かと思われる。そこで、大型車交通量を説明変数に、ひび割れ率のパフォーマンスカーブを設定した。追跡調査結果と、設定したパフォーマンスカーブを図-3に示す。なお、縦表面ひび割れは発生しない箇所もあることから、全箇所の平均としてパフォーマンスカーブの設定を行った。

(4) MCI の評価

わだち掘れ量とひび割れ率のパフォーマンスカーブから得られる値を、MCI 算定式³⁾に代入してMCIを算出した。なお、平坦性σは修繕原因となることが少ないため追跡調査を実施していないことや、MCIへの寄与率がわだち掘れ量やひび割れ率に比べて低いことを踏まえ、北海道開発局における運用手法を参考に1.5mmで一定として扱った。算出したMCIから設定したパフォーマンスカーブを図-4に示す。

維持修繕の要否判断基準としては、表-4に示す基準を参考にして、MCI=4以下を目安として設定した。図-4に示したパフォーマンスカーブから、MCIが4以下となるのは、累積大型車交通量が改質II型は12.71百万台、ストアスは7.05百万台の時であることが分かり、同一の交通条件下では改質II型はストアスの1.8倍修繕期間を伸ばすことが可能であると評価される。また、MCIが4以下になるまで

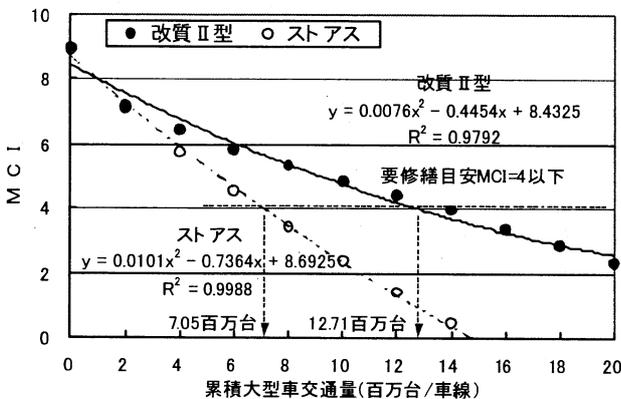


図-4 MCI のパフォーマンスカーブ

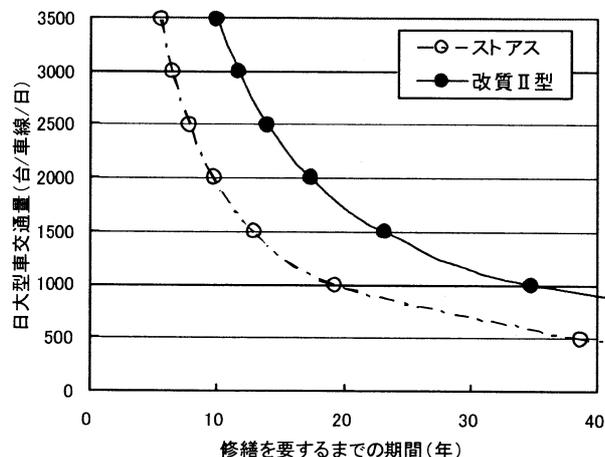


図-5 修繕を要するまでの期間

の累積大型車交通量を、日大型車交通量×日数×年数で割ることによって、日大型車交通量に対応した修繕を要するまでの期間を算定することができ、算定結果を図-5に示す。改質II型の方が修繕を要するまでの期間が長くなっていることが分かる。

このように、改質II型混合物はわだち掘れを抑制し、修繕間隔を伸ばすことが出来るため、修繕工事回数と工事規制回数を減らすことにつながる。それに伴い、維持修繕費だけでなく、利用者の時間損失や燃料損失も低減でき、改質II型の方がLCCが安価となる可能性がある。3章において、LCCによる経済性評価について述べる。

3. 経済性の評価

(1) 経済性評価手法

経済性の評価は、ストアス混合物と改質II型混合物のLCCによって評価を行うものとする。

LCCの費用項目は、道路管理者費用、道路利用者費用、沿道および地域社会の費用の3つに大別でき、各々の構成要素は表-5に示す通り整理できる。

上記のうち、道路管理者費用は定量化しやすく比較的高い算定精度を得ることが可能であり、経済性評価においても信頼性が高いと考えられる。それに比べ、道路利用者費用と沿道および地域社会の費用は、その定量化方法について定まった理論が確立されておらず、直接的には金額が算定できないものも含まれるが、舗装の性能の評価や舗装整備効果の評価のためには重要な項目である。そのため、道路利用者費用については現時点で可能な範囲で算定し、経済性評価の際の一つの判断指標として活用を図ることとした。道路利用者費用のうち、算定を試みたのは、車両走行費用と時間損失費用である。その他の費用や沿道および地域社会の費用は本検討においては考慮しない。

表-4 MCI の維持修繕基準

MCI	維持修繕基準
3以下	早急に修繕が必要
4以下	修繕が必要である
5以下	望ましい管理水準

表-5 ライフサイクルコストの費用項目

道路管理者費用	調査計画費用	調査費、設計費
	建設費用	用地取得費、建設費、現場管理費
	維持費用	維持費
	修繕費用	修繕費、廃棄処分費、現場管理費
道路利用者費用/便益	車両走行費用/便益	燃料費、車両損耗費(燃料費節減便益、車両損耗費節減便益)
	時間損失費用/便益	工事車線規制や迂回による時間損失費用(ネットワーク整備による時間短縮便益)
	その他費用/便益	事故費用(事故減少便益)、心理的負担(乗り心地の不快感、渋滞の不快感などの)費用(心理的負担低減便益)
沿道および地域社会の費用/便益	環境費用/便益	騒音、振動、大気汚染、地球温暖化、廃棄処分による環境悪化(環境改善便益)
	その他費用/便益	工事による沿道住民の心理的負担、沿道事業者の経済損失

LCCの分析期間は十分に長い期間が必要であるが、本検討では40年を分析期間とした。各年のコストを現在価値に換算する方法はすべてのコストを現在価値に換算し、その合計額を評価する現価法をもちいる。現在価値に換算するための社会的割引率は、日銀統計の全国貸出約定平均金利などから整理された実質値を示した資料⁴⁾などを参考にして4%と設定した。片側車線数を1と2以上の2ケース、車線あたり大型車交通量を100～3,500台/日・車線の間に11ケース設定し、合計2×11=22ケースの交通量条件下における各費用を算定した。

a) 道路管理者費用の算定手法

道路管理者費用として、初期建設費、修繕費、維持費を算定するものとし、各々の算定手法について以下に述べる。

初期建設費は初年次に切削オーバーレイを基本とした費用を計上する。修繕費は、MCIが低下して4未満になった年次に表層1層の切削オーバーレイを実施するのに要する費用とする。オーバーレイする混合物は同種の混合物とする。表層施工厚3～5cmで車線巾3.5m、延長1km当たりの初期建設費用および修繕費用（工事費と管理費を含む）を表-6に示す。改質II型がストアスに比べて10%程度高いことが分かる。

表-6 初期建設費用および修繕費用

施工厚	工事価格 (千円/km/車線)		価格比率 (改II/ストア)
	ストアス混合物	改質II型混合物	
t=3cm	7,711	8,289	1.07
t=4cm	9,253	10,024	1.08
t=5cm	10,789	11,753	1.09

また、改質II型混合物に発生する縦表面ひび割れに対する補修費として、先に求めたパフォーマンスカーブからひび割れ発生量を算定し、クラックシール費用を計上する。表-7にクラック発生数量とクラックシール費用を示す。

維持費は建設省道路局などによる式(1)により、MCIから1m²当たりの費用で算出する⁵⁾。

$$\text{維持費用} = 274.0 - 27.2\text{MCI} \quad (1)$$

b) 道路利用者費用の算定手法

道路利用者費用として、路面悪化による車両走行費用損失と、工事規制区間の交通規制に伴う道路利用者の時間損失と燃料損失を算定する。

路面悪化による車両走行費用損失は、図-6に示すMCIと車両走行費用の関係⁵⁾を用いて算出する。なお、速度は平均旅行速度50km/hrと仮定する。

工事規制区間の交通規制に伴う道路利用者の時間損失と燃料損失は、規制による停止と遅れ時間の損失費用と燃料損失費用を算出する。夜間工事を想定し、規制による停止、通過遅れ時間を、国土交通省道路局が示した時間価値原単位および走行経費原単位⁶⁾を用いて算出する。

表-7 クラック発生数量とクラックシール費用

日大型車交通量 (台/日・車線)	ひび割れ長 (m)		工事費 (円)	
	改質II型	ストアス	改質II型	ストアス
100	8.2	0.2	2,491	61
200	16.4	0.3	4,982	91
300	24.6	0.5	7,472	152
400	32.8	0.7	9,963	213
500	41	0.8	12,454	243
1000	81.9	1.6	24,877	486
1500	122.9	2.4	37,331	729
2000	163.8	3.3	49,754	1,002
2500	204.8	4.1	62,208	1,245
3000	245.7	4.9	74,632	1,488
3500	286.7	5.7	117,460	1,731

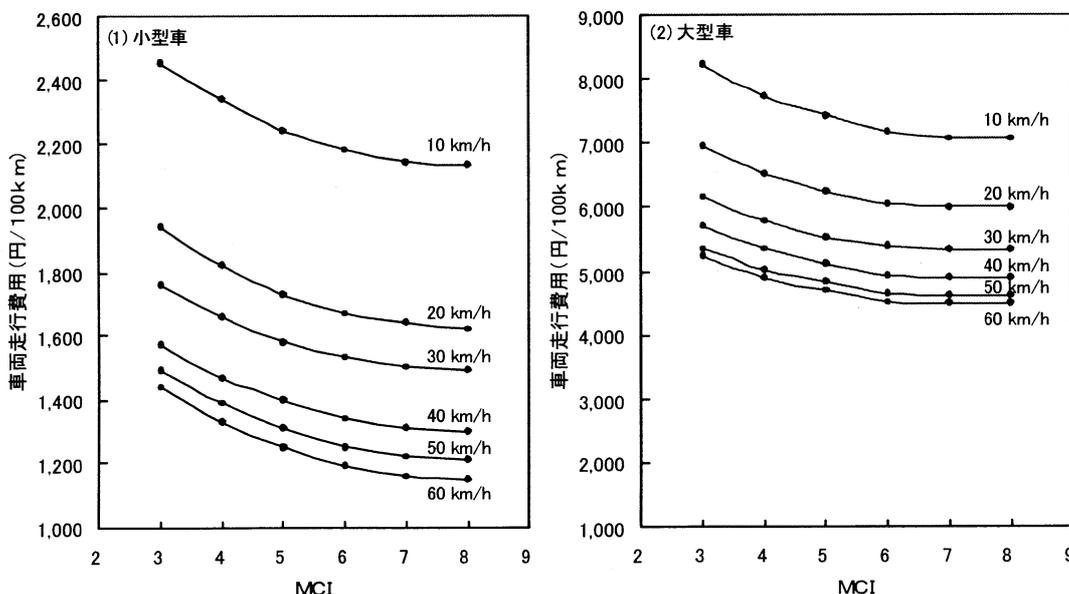


図-6 車両MCIと車両走行費用の関係⁵⁾

(2) 道路管理者費用の評価

片側2車線、大型車交通量2,500(台/日・車線)の箇所における解析期間内の道路管理者費用累計の推移の算定例を図-7に示す。解析期間40年経過後に改質Ⅱ型の道路管理者費用累計がストアスを下回っている。同様の計算を交通量条件毎に実施し、40年間の道路管理者費用累計を算定した結果を図-8に示す。交通量が多い区間ほど改質Ⅱ型の道路管理者費用がストアス混合物に比べて低くなる傾向が認められる。定量化しやすく算定精度も比較的高いと考えられる道路管理者費用において、縮減効果が認められると評価される。

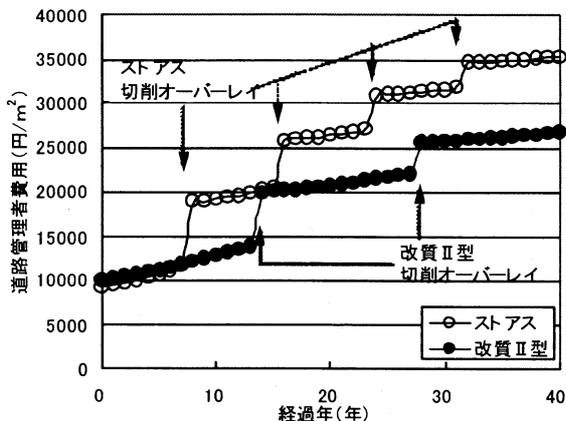


図-7 解析期間内の道路管理者費用の推移
(大型車交通量2500台/日・車線の場合)

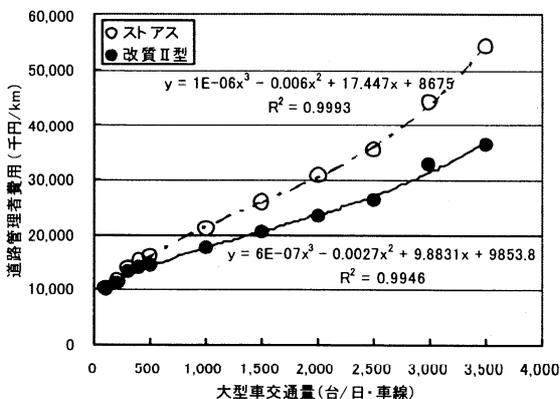


図-8 解析期間内の道路管理者費用累計

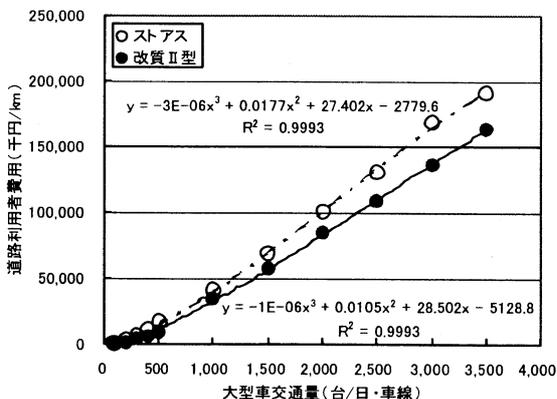


図-9 解析期間内の道路利用者費用累計

(3) 道路利用者費用の評価

交通量条件毎に40年間の道路利用者費用累計を算定した結果を図-9に示す。交通量が多い箇所ほど改質Ⅱ型の方が道路利用者費用を少なくできる傾向にある。定量化方法について定まった理論が確立されておらず、金額自体の算定精度は低いと考える必要があるものの、道路利用者費用の縮減効果についてもプラスの効果が見られるとの判断が成り立つものと考えられる。

(4) ライフサイクルコストの評価

先に求めた40年間の道路管理者費用累計と道路利用者費用累計の合計をLCC累計とし、図-10に示す。交通量が多い箇所ほど改質Ⅱ型の方がLCCを少なくすることができる事がわかる。

ストアス混合物に代えて改質Ⅱ型混合物を使用することによる、交通量条件毎の40年間のLCC縮減額を図-11に示す。解析期間40年間のLCC縮減額は大型車交通量が多い箇所ほど大きい傾向にある。図中には道路管理者費用の縮減額と道路利用者費用の縮減額を区別して示しているが、道路管理者費用の縮減額は道路利用者費用の縮減額に比べて割合が低い結果となっている。なお、大型車交通量500台/日・車線と3,000台/日・車線の道路利用

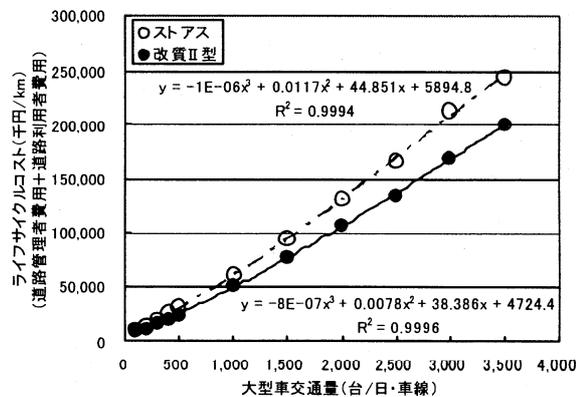


図-10 解析期間内のLCC累計

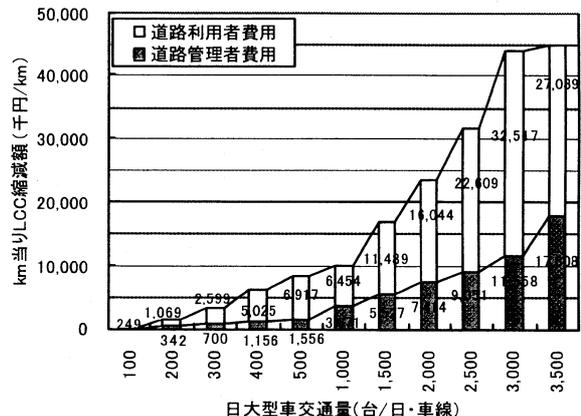


図-11 大型交通量毎のLCC縮減額

者費用が前後階級の値と比べて傾向が異なっている。これは、補修年におけるMCI4以下の路面状態の差が影響したものであり、本検討における道路管理者費用の算定手法を用いた場合、修繕前の路面状態の差によってこの程度の誤差が生じるものといえる。

4. 適用手法に関する検討

北海道の国道全体を対象にした、LCC縮減効果が得られる改質Ⅱ型混合物の適用手法に関して検討を行った。つまり、国道ネットワークレベルでの適用手法を検討した点が特徴であり、プロジェクトレベルでの適用判断を述べるものではない。

車線当りの大型車交通量で階級分けし、各階級毎の道路延長及び大型車交通量が多い方からの延長累積比率を図-12に示す。また、改質Ⅱ型を適用した場合の各階級毎の道路管理者費用縮減額とその累積比率を図-13に、道路管理者費用縮減額とその累積比率を図-14に示す。図-12より、大型車交通量1,000台/日・車線以上の区間は国道延長全体の27%であり、その区間でストアスに代えて改質Ⅱ型を適用することによって、道路管理者費用の縮減額の全体に対して84%分を達成できることが図-13よりわかる。一方、大型車交通量が1,000台/日・車線よりも少ない区間は国道全体の73%であるが、これらの箇所ではストアスに代えて改質Ⅱ型を適用しても、得られる道路管理者費用の縮減は全体の16%でしかなく、適用する箇所の交通量によって道路管理者費用の縮減効率に大きな格差があるといえる。

道路利用者費用についても図-14より、大型車交通量1,000台/日・車線以上の区間でストアスに代えて改質Ⅱ型を適用することによって、道路利用者

費用の縮減額の全体に対して59%分を達成でき、適用する箇所の交通量によって道路利用者費用の縮減効率にも大きな格差があることがわかる。

限られた予算の中で効率的にLCC縮減を図る手法を検討するならば、道路管理者費用と道路利用者費用の縮減額全体に対して大きな割合を占め、費用の縮減効率が高いと判断される大型車交通量1,000台以上の路線を、適用の対象として重点化する手法が望ましいと考えられる。この条件で適用を図った場合、北海道の国道全体の道路管理者費用の縮減額は130億円/40年、道路利用者費用の縮減額を含めたLCCの縮減額は508億円/40年と試算される。

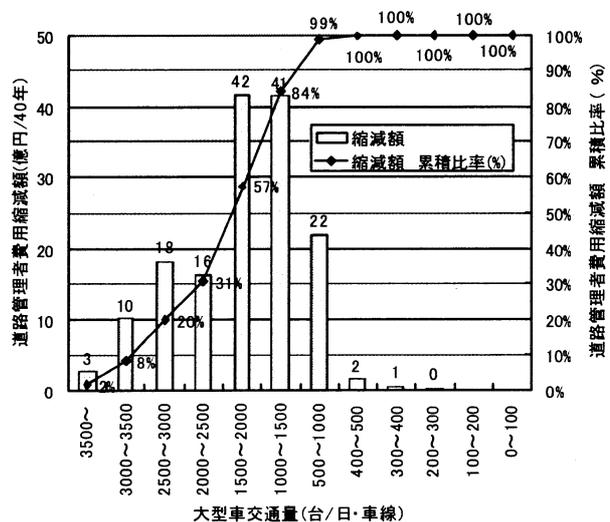


図-13 交通量階級毎の道路管理者費用縮減額と累積比率

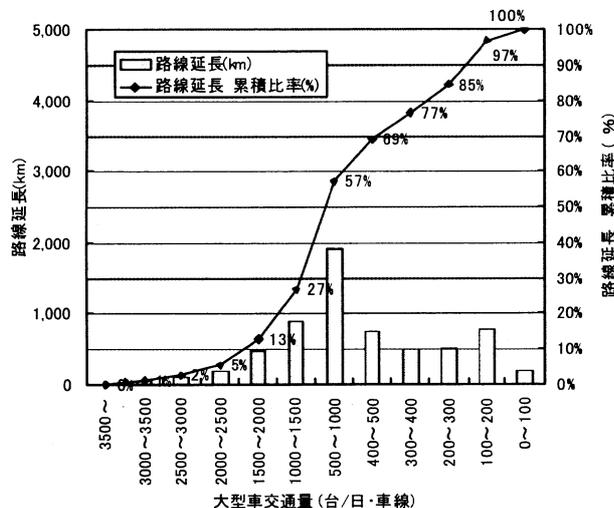


図-12 交通量階級毎の国道延長と累積比率

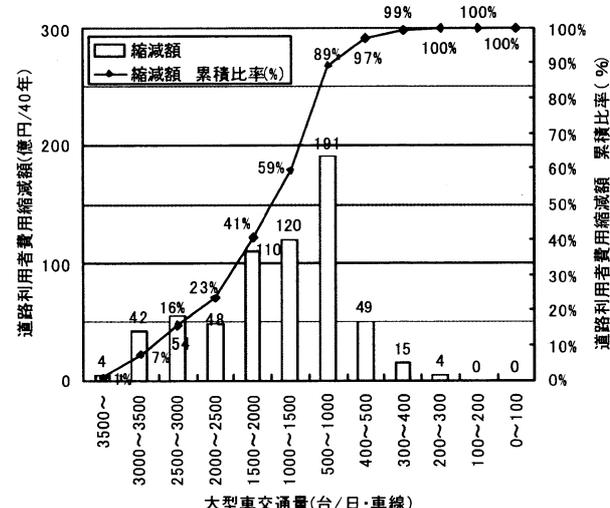


図-14 交通量階級毎の道路利用者費用縮減額と累積比率

5. まとめ

本報告は以下の様にまとめられる。

- (1) 改質Ⅱ型アスファルト混合物のわだち掘れ抑制効果を確認した。一方、改質Ⅱ型混合物区間には、舗装表面から下方に向かって進展する表面縦ひび割れが発生する場合がある。片側1車線箇所のように車両の通過位置が集中しやすい箇所に発生しやすい傾向があると考えられる。
- (2) MCIにより評価すれば、改質Ⅱ型混合物はストラス混合物に対して概ね1.8倍程度長寿命であると評価される。
- (3) 定量化しやすく算定精度が高いと考えられる道路管理者費用に関する経済性解析結果から、ストラスに代えて改質Ⅱ型を適用することにより、道路管理者費用を縮減可能と判断できた。また、道路利用者費用については、定まった定量化方法が確立されておらず、金額自体の算定精度は低いと考える必要があるものの、縮減効果についてプラスの効果が得られるとの判断が成り立つものと考えられ、長寿命化対策の経済性を評価できた。
- (4) 北海道の国道全体のネットワークレベルでの適用方法について、適用する箇所の交通量によって道路管理者費用の縮減効率に大きな格差があるため、縮減効率が高いと判断される路線を重点に適用の対象とする手法が望ましい。

5. おわりに

LCCの算定手法に関しては、特に道路利用者費用の評価算定方法や算定精度に関して幾分の批判があると思われるが、長寿命化技術の評価や、利用者ニーズや社会的要請を事業に反映するうえで欠かせない手法であり、手法の検討と改善を継続することが必要である。本報告が一つの参考となれば幸いである。

最後に、調査にご協力を頂いた国土交通省北海道開発局および各開発建設部の関係者にお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本道路協会：舗装設計施工指針，日本道路協会，2001.
- 2) 西澤辰男，松野三朗：アスファルト舗装の車輪走行位置に生ずる縦表面ひび割れについて，土木学会論文集No.478，pp.71-80，1993.11.
- 3) 土木学会「舗装工学」編集委員会：舗装工学，土木学会，pp.303，1995.
- 4) 道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針（案），第41回建設省技術研究発表会，pp.40-43，1998.6.
- 5) 建設省道路局国道第一課，土木研究所：舗装の管理基準と維持修繕工法に関する総合的研究，第41回建設省技術研究発表会，pp.325-342，1987.
- 6) 国土交通省道路局，都市・地域整備局：費用便益分析マニュアル，2003.10.

ECONOMIC ASSESSMENT AND USE POLICIES OF MODIFIED ASPHALT PAVEMENT

Kimio MARUYAMA and Hideto TAKEMOTO

This study proposes policies for the use of type-II modified asphalt mixture, by assessing the long-term service performance of such pavement and the economic efficiency of using the mixture to extend the pavement lifespan.

Based on data from a tracking survey, quantitative assessment of long-term service performance has confirmed that modified asphalt mixture extends the period between repairs and the pavement lifespan. Furthermore, life-cycle cost analysis for a 40-year service life revealed that use of such mixture affords cost reductions for road administrators and road users.