

ライフサイクルコスト分析に基づく 北海道型SMA適用の有効性に関する一検討

国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所寒地道路保全チーム ○田中 俊輔
国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所寒地道路保全チーム 丸山 記美雄
北海道科学大学 工学部 教授 亀山 修一

国土交通省北海道開発局が管理する高規格幹線道路では、2017年より排水性舗装に替わって北海道型SMAが適用されている。北海道型SMAは、排水性舗装より耐久性に優れるが、混合物単価が高くなる点が課題である。そこで本研究では、高規格幹線道路で実施した路面状況調査を基に、ライフサイクルコスト分析をおこなった。その結果から、北海道型SMA適用の有効性を、経済的観点で検討した。

キーワード：北海道型SMA、排水性舗装、ライフサイクルコスト、耐久性向上

1. はじめに

国土交通省北海道開発局（以下、北海道開発局）が管理する高規格幹線道路では、従来適用されてきた排水性舗装（空隙率17%）に替わり、北海道型SMAの適用が提案され、2017年より本格的運用が開始となった。北海道型SMAは、排水性舗装が有する走行安全性の機能を有しつつ、積雪寒冷環境下における十分な耐久性も併せ持つことをコンセプトとしており（図-1）、近年では一般国道への適用も含め、普及が進んでいる（図-2）。

北海道型SMAの耐久性評価および走行安全性は、既往の室内試験、試験施工、実道における供用開始後の追跡調査の結果から、十分に期待できることが確認されている。一方で北海道型SMAは排水性舗装と比較して混合物単価が高いことから、初期費用も高くなる。そのため、排水性舗装の代替として適用されている北海道型SMAの有効性は、初期費用だけでなくライフサイクル全体での評価を検討しなければならない。

そこで本研究では、高規格幹線道路で実施した路面状況調査の結果を基に、積雪寒冷地に施工された排水性舗装の耐久性の現状を把握した。さらに北海道型SMA適用の有効性を確認するための基礎的な取り組みとして、ライフサイクルコスト（以下、LCC）分析を実施し、経済的な観点から検討した。

2. 積雪寒冷地における排水性舗装の現状

北海道開発局が管理する路線における排水性舗装の適

用は、2000年代前半より開始された。排水性舗装は騒音低減、雨天時や冬期の走行安全性確保といった効果が確認されている。しかし、耐久性の面から課題が散見されるようになり、2010年より産学官のメンバーからなる積雪寒冷地における舗装技術検討委員会（北海道開発局主催）において、積雪寒冷地の高規格幹線道路に適した表層用アスファルト混合物が検討されるようになった経緯がある。

そのような排水性舗装の現状を明確にするために、調査を実施した。調査路線は、北海道開発局が管理する高規格幹線道路のうち、舗装台帳閲覧システムから排水性

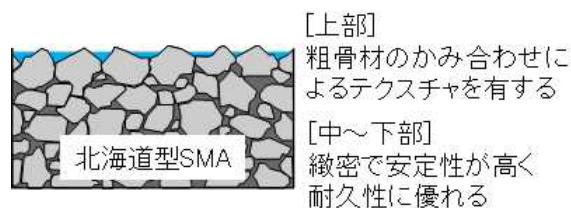


図-1 北海道型SMAの構造



図-2 北海道開発局における北海道型SMAの累計施工面積の推移

表-1 高規格幹線道路に施工された排水性舗装の現況

路線	区間	供用開始年度	24時間交通量 (台/日・両方向)	大型車混入率	最大積雪量 (過去10年)	最短供用年数 (2017年以降独自調査)	残存率 (2019年春期)
A	①	2003	2,146	12.3%	142cm	14年	13.8%
	②	2004	3,233	16.5%	142cm	12年	69.9%
	③	2006	3,591-4,306	17.3-19.6%	273cm	7年	29.8%
	④	2012	4,091	20.2%	273cm	—	100%
B	—	2004	1,892-1,975	17.1-19.0%	118cm	—	100%
C	—	2010	1,919	13.1%	118cm	—	100%
D	①	2002	5,446-5,732	15.8-16.6%	151cm	11年	28.5%
	②	2006	3,157-4,020	18.3-21.7%	174cm	9年	45.8%
E	①	2000	3,468	18.8%	69cm	15年	1.7%
	②	2005	4,689	13.3%	69cm	10年	24.1%
F	—	2012	4,551-5,151	28.7-28.8%	114cm	7年	99.1%
G	①	2004	3,651-7,434	10.1-10.7%	137cm	13年	36.4%
	②	2006	6,646	20.1%	137cm	13年	46.6%
	③	2001	3,407	21.9%	128cm	11年	83.3%
	④	2007	3,160	22.1%	128cm	13年	90.9%
H	①	2002	3,900	45.0%	106cm	15年	81.0%
	②	2005	7,349	21.9%	106cm	—	100%
I	①	2007	10,353	19.0%	43cm	8年	32.0%
	②	2008	11,236	20.4%	43cm	7年	23.8%
	③	2003	10,777	19.6%	43cm	11年(局部1年)	0%
	④	2005	8,798	23.7%	43cm	11年	41.8%
J	①	2003	7,698-14,438	10.0-10.1%	91cm	11年(局部4年)	9.1%
	②	2009	4,747	14.5%	91cm	8年	92.0%
	③	2011	3,392	15.6%	91cm	—	100%

舗装の施工年度もしくは供用開始年度を明確にできた区間とした。その区間において、2017年から毎年春期に車両走行しながら取得した路面の映像および走行中の目視において、排水性舗装が現存しているか否かを確認した。つまり、排水性舗装がオーバーレイ等されずに現存しているかが、本調査における供用年数や残存率の判断基準になっている。なお、最短供用年数とは、供用開始年からオーバーレイが確認された年までの区間内最短期間を示し、残存率とは、排水性舗装が施工されている区間内総延長に対して、2019年春期の時点で残存が確認された延長の割合を示している。

調査結果を表-1に示す。24時間交通量および大型車混入率は2015年道路交通センサス一般交通量調査による。最大積雪量は、各区間最寄りのアメダス観測点における直近10年の最大量を示している。

最短供用年数に着目すると、概ね、供用年数が10～15年になるとオーバーレイ等の修繕が必要になっていることがわかる。その中でも、表-1に赤枠で示した最短供用年数が10年以下だったり、残存率が低い区間がいくつかみられる。その区間について詳しくみると、最大積雪量が多い、もしくは24時間交通量が10,000台/日・両方向を

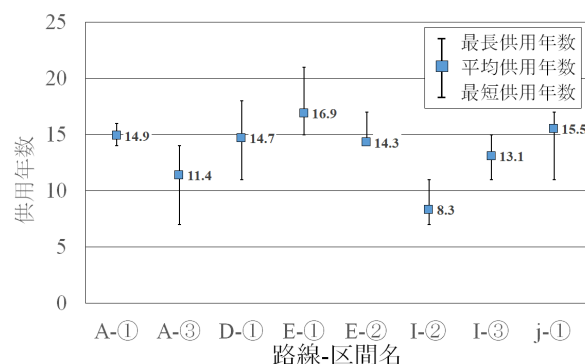


図-3 排水性舗装における供用年数の平均とばらつき

超えているという特徴がある。したがって、除雪作業や融雪期の凍結融解作用、および交通荷重による影響が大きい区間では、排水性舗装が10年持たず劣化する可能性が考えられる。

次に、表-1のうち、残存率が30%未満の区間を対象に、排水性舗装における供用年数の平均とばらつきについて検証した。なお、残存している排水性舗装の供用年数は、2019年春期時点の供用年数+1年と仮定して、平均供用年数および最長供用年数を求めている。

結果を図-3に示す。若干のばらつきはあるが、10～15

年が平均供用年数となっており、対象路線全体の平均供用年数を求めると約13.3年であった。したがって、この程度の年数が積雪寒冷地の高規格幹線道路における排水性舗装の耐用年数であると言える。また、最短供用年数と最長供用年数の差を確認すると、2～7年（平均4.9年）であり、この期間で切削オーバーレイ等の修繕が進められている。つまり、排水性舗装の劣化が顕著になってから約5年のうちに、その区間のほぼ全ての排水性舗装が大幅な修繕を必要としたと言える。北海道開発局が管理する高規格幹線道路に現存している排水性舗装は、供用開始から10年程度、もしくはそれ以上経過している区間が多く見られる。そのため、日常の維持作業から大幅な修繕までを含めた補修計画の検討が必要であると考えられる。

なお、オーバーレイ等の修繕がされていない場合でも、ポットホールや骨材飛散およびそれらをパッチング等で補修した箇所が多く見られる状況が散見され、修繕が追いついていないと思われる区間も存在した（写真-1）。さらに、基層以下にも砂利化や層間はく離等の劣化が発生している事例も確認された（写真-2）。これは、排水性舗装が有する透水機能が影響したと考えられるが、このような場合、オーバーレイ工法による修繕では、十分な効果が発揮できないと思われ、舗装構造全体を含めた修繕計画が必要になる。

このように現況調査の結果から、北海道開発局が管理



写真-1 排水性舗装の破損状況



写真-2 排水性舗装供用区間で発生した構造破損

する高規格幹線道路に現存している排水性舗装では、日常の維持作業から修繕工法まで、補修計画を十分に検討し、運用していく必要がある。

3. LCC分析に基づく北海道型SMA適用の有効性

近年、排水性舗装に替わって施工されるようになった北海道型SMAは、その耐久性および走行安全性について十分に期待できることが明らかになっているものの、排水性舗装と比較して、アスファルト量が多い、植物性繊維を添加する等の理由から混合物単価が高価になる（表-2）。しかし北海道型SMAは排水性舗装よりも高い耐久性が期待できるため、混合物の耐用年数が増加することにより、高い初期費用による負担は相殺されることが考えられるが、検討が必要である。

ここでは、ライフサイクルコスト（LCC）分析を実施し、その結果に基づいて、北海道型SMA適用の有効性について検討した。

(1) LCC分析の方法²⁾

本分析の実施にあたり、まず、北海道開発局が管理する高規格幹線道路の1区間を分析対象とした。舗装構造や交通量等の環境条件はほぼ同様と考え、利用者便益および維持修繕等を含む日常の管理費用は分析に含まないこととした。また、橋梁部やトンネル等は舗装構造や環境条件等が異なるため分析対象とはしていない。そのため、混合物費用の差に着目した分析方法となっている。

分析区間は橋梁部等を除外し8.1kmとした。また、本区間は交通センサ調査の結果によると交通量区分はN5であるが、北海道の中でも特に多雪で寒冷な地域に属する区間である。この区間は2006年に供用開始され排水性舗装が2015～2018年度にかけてオーバーレイされた。排水性舗装の耐用年数は、前述の調査結果（図-3）から得られた13.3年とした。

まず、北海道型SMAと排水性舗装の分析期間における純現在価値（NPV: Net Present Value）を算出し、北海道型SMAと排水性舗装のLCCを比較検討した。（1）に算出式を示す。

$$NPV = PV_0 + \sum FV_i \left[\frac{1}{(1+r)^{ni}} \right] + SV \left[\frac{1}{(1+r)^{ns}} \right] \quad (1)$$

表-2 北海道型SMAの混合物単価（北海道開発局札幌開発建設部2018年度）

混合物	品質規格等	単位	価格
排水性舗装（ポーラスアスコン）	ポリマー改質H-F型/13mmトップ/空隙17%	t	18,350円
北海道型SMA	ポリマー改質II型/植物性繊維入り	t	21,800円
※参考 密粒度アスコン（13F）	ストレートアスファルト	t	14,450円

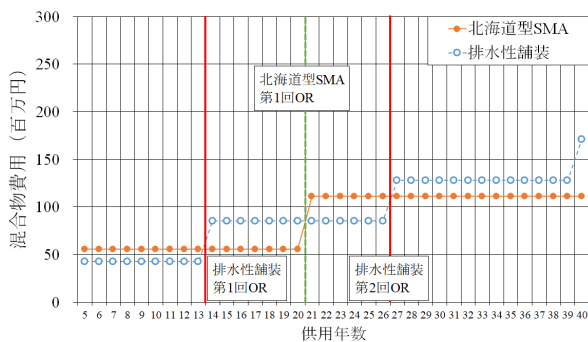


図-4 混合物費用の比較

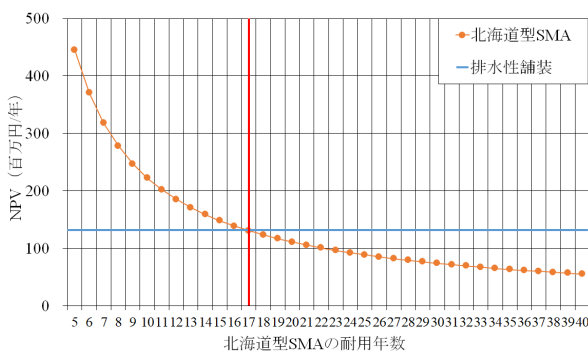


図-5 純現在価値 (NPV) に換算したLCC分析結果の比較

ここに PV_0 : 初期費用, FV_i : i 番目のオーバーレイ費用の将来価値, SV : 分析期間終了時の残存価値, r : 社会的割引率, n_i : i 番目のオーバーレイを実施する年, ns : 分析期間である。

混合物費用を算出するにあたり, この区間は片側一車線の対面通行なので, 幅員3.5m, 表層厚さ40mmとし, 混合物の密度は2018年度北海道開発局土木工事数量算出要領より北海道型SMAが $2.25t/m^3$, 排水性舗装 $2.05t/m^3$ とした。また, 混合物単価として表-2を参考にすると, 本区間の初期費用 PV_0 は北海道型SMAが55,622,700円, 排水性舗装が42,658,245円となる。 i 番目のオーバーレイ時の混合物費用の将来価値 FV_i は初期施工時と同等と仮定した。分析期間終了時の残存価値 SV は, FV_i を供用期間年数で除した値に i 番目のオーバーレイから供用した年数を乗じて求められる。なお, 分析期間は40年とした。

(2) LCC分析の結果

a) 混合物費用の比較

まず, 北海道型SMAの耐用年数が20年と仮定したとき, それぞれの混合物費用 (初期建設時+オーバーレイ時) を比較した。なお, オーバーレイ時の混合物費用は初期費用と同等とし, オーバーレイ後の耐用年数も初期建設時と同様とする。

図-4に比較結果を示す。供用年数が長くなるほど, 北海道型SMAの混合物費用が排水性舗装よりも安価になる期間が多く見られ, 供用年数が14~20年および27~40

年では, 北海道型SMAの混合物費用が排水性舗装よりも安価になった。本分析の結果では, 供用年数が14~20年では29,693,790円安価になり, 最大59,387,580円 (供用年数40年時) 安価になった。

b) 純現在価値を基にしたLCC分析結果の比較

次に, 純現在価値 (NPV) の算出結果を用いて, 北海道型SMAの耐用年数を変動させて, 排水性舗装とのLCCを比較した。残存価値 SV は考慮し, 社会的割引率 r は0%とした。また, 図-4と同様に, 排水性舗装のオーバーレイ時の混合物費用および耐用年数は初期建設時と同様とした。

図-5に比較結果を示す。北海道型SMAの耐用年数が約17年の場合に排水性舗装のLCCとほぼ同値となり, それ以上になると北海道型SMAの方が有利になった。したがって本分析では, 北海道型SMAの耐用年数が17年より長ければ, 排水性舗装より有用といえる。

ただし, これらの結果は, LCC分析の結果に影響を与えると考えられるいくつかの要素を考慮しておらず, 例えばオーバーレイ後の耐用年数も初期施工時と同様と仮定して分析を実施している。実道では, 様々な環境条件の違いによって, 舗装構造全体の劣化や利用者便益等にも影響が現れてくると考えられる。これらを考慮した分析精度の向上が今後の課題である。

4. 結論

以下に, 本研究で得られた知見を示す。

- (1) 北海道開発局管理の高規格幹線道路に排水性舗装を適用した場合, 概ね供用10~15年でオーバーレイ等の修繕が必要な状況まで劣化が進行する区間が発生している。また, 2019年春期時点で排水性舗装の残存率が30%未満の区間における供用年数に着目すると, 積雪寒冷地の高規格幹線道路における排水性舗装の耐用年数は10~15年程度と思われる。
- (2) 積雪量や交通量が特に多い区間では, 除雪作業や融雪期の凍結融解作用, および交通荷重による影響が大きいことから, 供用10年未満でも劣化が進行する場合も見られる。
- (3) LCC分析の結果より, 北海道型SMAの機能が十分に発揮され, 供用年数が17年以上となれば, 排水性舗装よりも経済的に有利になり, 北海道型SMAの適用が有効であることが確認できた。ただし, 本研究におけるLCC分析は, あくまでも混合物単価に基づく分析であるため, さらなる検討が必要である。

5. おわりに

本分析の結果、北海道型SMAの耐久性が十分に発揮された場合、初期費用では北海道型SMAの方が高価であるものの、LCCでは安価になることが確認できた。しかし、本分析は実道における現象を考慮すると、さらなる検討が必要と考えている。

今後、北海道型SMA施工区間の追跡調査を継続するとともに、北海道型SMA導入の有効性を信頼できる定

量的評価に基づいて検証するために、研究を継続していく予定である。

参考文献

- 1) 積雪寒冷地における舗装技術検討委員会：北海道型 SMA の施工の手引き（案），2014.
- 2) Fan Yin, Randy West: Performance and Life-Cycle Cost Benefits of Stone Matrix Asphalt, 1st International Conference on Stone Matrix Asphalt, Atlanta, Georgia, 2017.