

8. 道路土工構造物（盛土・切土）、
舗装の構造・維持管理・対災害性の高度化

盛土・切土等の要求性能に対応した維持管理手法及び信頼性設計に関する調査検討

Study on maintenance management method and reliability design for required performance of embankment and cut

(研究期間 令和3年度～令和5年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室
Road Structures Department
Pavement and Earthworks Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
主任研究官
Senior Researcher

渡邊 一弘
WATANABE Kazuhiro
青山 淳
AOYAMA Jun
吉川 昌宏
YOSHIKAWA Masahiro

In this report, “damage factors” and “the basis for soundness diagnosis of damaged cases” were analyzed and organized from the inspection reports of periodic inspections of road earthwork structures. These results will be used as basic data to revise the guidelines.

[研究目的及び経緯]

平成27年3月に「道路土工構造物技術基準」が、平成29年8月には「道路土工構造物点検要領」が定められ、道路土工構造物に対して体系的な観点から調査・設計・施工及び維持管理などを行うこととなった。

本年度は、盛土のり面を対象とした被災事例における損傷の要因や道路土工構造物の定期点検の点検調書における健全性診断の根拠に着目し、整理・分析を行い、指針類等へ反映の基礎資料とするものである。

[研究内容]

盛土のり面の崩壊は、路面の表面排水がのり面に流れ出す事例が散見され、複数の要因が重なり被災していると考えられる。そのため、道路線形、周辺地形及び排水構造に着目し、被災パターンを分類、被災箇所を含む一連の区間を設定し、被災箇所と非被災箇所の条件に関し整理・分析を行った。また、点検結果の信頼性を一層向上させる観点から、4年間の点検結果の特徴などを分析し、個々の施設の変状内容から道路土工構造物全体として適切に診断するために不足している知見などをとりまとめた。

[研究成果]

1. 盛土のり面の崩壊について

1) 検討箇所の抽出及び被災パターンの整理

平成30年～令和3年度の直轄国道の被災資料から机上にて被災形態等を整理し、道路構造・排水施設・地形等により、盛土自体に起因する被災事例としてN=36箇所を抽出し、表-1に示す被災パターンに分類した。また被災パターンの被災模式図を図-1に示す。

2) 盛土のり面の被災リスク分析

排水施設の能力について確認を行うほか、検証箇所

表-1 被災パターンの整理

被災パターン	箇所数
①表面排水の溢水等	5
②排水施設の有無等	6
③地形による盛土内水位の上昇等	20
④その他(路面クラックからの浸水等)	5

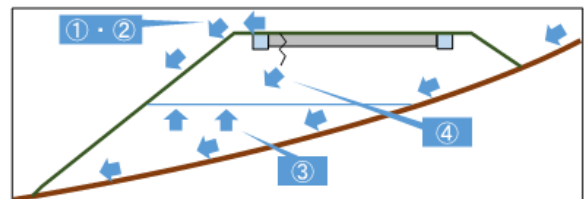


図-1 被災パターン被災模式図

所3箇所(10km/区間)について、被災パターン①～③の発生が考えられる箇所を、現場条件を踏まえて選定し(表-2)、被災箇所・非被災箇所の分析を行った。

(1) 表面排水計算

道路表面排水の能力について確認するため、被災を受けやすい道路線形・周辺地形と考えられる箇所において排水計算を実施した。被災箇所・非被災箇所とも、排水施設を設置していれば、表面排水が盛土のり面に溢水することなく、十分に通水可能であることが確認できた。このため、他の路線においても、適切に維持管理された排水施設では、溢水等による被災の可能性は小さいと考えられる。

(2) 被災パターンごとの被災リスク分析

表-1に示す被災パターンごとの代表箇所について、「盛土工指針(平成22年度版)」に記載されている注意が必要な盛土、被災事例から発生要因と考えられる条件および高盛土(3段以上)を指標とするほか、点検実施の有無、被災履歴も指標(表-3)とし被災リスクの分析を行った。

(3) 分析結果

表-2 被災パターンの整理

被災パターン	理由
①表面排水の溢水等	山地部、急勾配区間が多い、表面排水集中等の影響を判断しやすい
②排水施設の有無等	平坦地、排水施設がない区間が多い、排水施設有無等の影響を判断しやすい
③地形による盛土内水位の上昇等	山地部、沢地形・傾斜地が多い、地形による盛土内水位の上昇等の影響を判断しやすい

表-3 被災リスク分析指標の整理

引用	指標
1) 表面排水による被災の指標 (①表面排水溢水②排水施設有無)	
盛土工指針 [B1]*	排水施設の不備：排水施設がなく、盛土のり面に表面排水が流出するか
盛土工指針 [B3]*	表面排水集中：曲線内側で片勾配による表面排水が集中しやすい盛土か
盛土工指針 [B3]*	表面排水集中：縦断勾配がサグもしくは勾配が緩くなり滞水しやすい盛土か
盛土工指針 [B3]*	横断管渠閉塞：横断管渠が閉塞等により沢水が路面に流出するおそれがあるか
追加指標 盛土工指針 [B1] **に追加	表面排水流出：排水施設が屈折(路側側溝→タテ溝等)、接続柵がない等により、溢水が生じやすい状況か
2) 盛土内水位の上昇による被災の指標 (③地形による盛土内水位の上昇等)	
盛土工指針 [C1] *	沢部の盛土：沢部を横断する盛土(谷埋め盛土)か
盛土工指針 [B4] *	傾斜地盤上の盛土：傾斜地盤上の盛土か
盛土工指針 [A1] *	軟弱地盤：軟弱地盤上の盛土か
追加指標 盛土工指針 [C1] **に追加	沢筋等の集水地形：上流側に沢筋などの集水地形があるか
追加指標 盛土工指針 [B4] **に追加	レベルバンク：雨水が滞水し、盛土内に浸水しやすいレベルバンクがあるか
1)、2) 共通の指標	
特定土工点検の高盛土条件	盛土段数：盛土段数3段以上の高盛土か
防災カルテ、特定土工点検	カルテ点検箇所：防災カルテ点検、特定土工点検により継続的に点検している盛土か
防災カルテ、特定土工点検	被災履歴：過去に被災を受けたことがある盛土か

*道路土工-盛土工指針 p7~p14 に示す変状・崩壊の分類

a) 表面排水による被災(被災パターン①)

盛土 33 箇所/10km (横軸) に対し、表-3 に示す項目にいくつチェックが入ったか(縦軸)を示したものを図-2 に示す。複数の指標に該当している盛土が、実際に被災した盛土と合致している。排水施設がなく、曲線内側・サグ部など表面排水が集まりやすい条件が重なる盛土で被災リスクが高い傾向であることがわかる。

b) 盛土内水位の上昇による被災(被災パターン③)

盛土 24 箇所/10km (横軸) に対し、表-3 に示す項目にいくつチェックが入ったか(縦軸)を示したものを図-3 に示す。複数の指標に該当している盛土が、実際に被災した盛土と合致している。沢部の盛土など地下水が集まりやすい条件が重なる盛土で被災リスクが高い傾向であることがわかる。

2. 点検時の留意事項の抽出及び「判定の参考となる変状事例」に追記すべき内容のとりまとめ

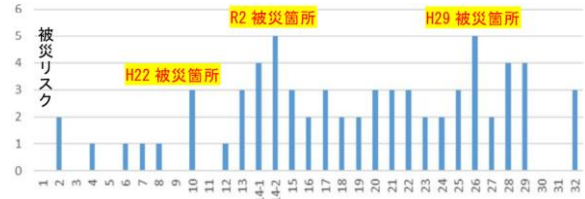


図-2 表面排水による被災

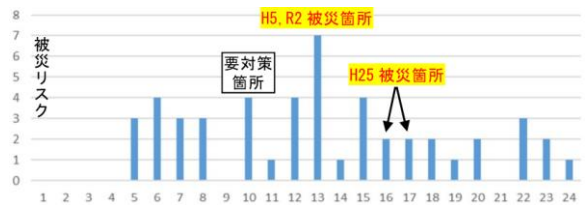


図-3 盛土内水位の上昇による被災

各地方整備局等が管理する道路土工構造物の平成30～令和3年度の定期点検結果を対象に、現行の点検要領の「判定の参考となる変状事例」において更新すべき内容を検討するために、点検結果の特徴や施設毎の変状傾向などを整理及び分析した結果、以下の通りとなった。

- ・ 切土の判定区分Ⅲ、Ⅳでは、「崩壊」「湧水」「亀裂」「肌落ち」に関する変状が比較的多く、「湧水」「亀裂」が顕在化する場合や、「崩壊」に繋がった場合に判定区分Ⅲ、Ⅳになると考えられる。
- ・ 盛土の判定区分Ⅲ、Ⅳでは、「崩壊」「侵食」「湧水」に関する変状が比較的多く、集水地形における盛土では「湧水」に伴う「侵食」が発生し「崩壊」に繋がる場合が多いと考えられる。

以上、点検結果の整理と特徴を踏まえ、「判定の参考となる変状事例」に追記すべき内容を取りまとめた。

3. 今後の課題

崩壊事例や点検結果のデータを今後も収集整理することにより、被災の素因や点検における診断内容についての精度向上が期待できる。また、盛土の崩壊は、未被災箇所でも被災を受けやすい条件が重なる盛土は留意すべきと考えられ、複数の被災事例について検証し、被災リスク箇所の抽出精度を向上させるためにも抽出指標の重み付けの必要性について検討を重ねる必要がある。

【成果の活用】

道路土工構造物の性能確保に向けた技術基準類や防災点検要領、道路土工構造物点検要領への改定に反映する。なお、「判定の参考となる変状事例」に追記すべき内容については、令和5年度より実施される2巡目点検に活用するため、道路土工構造物点検要領(令和5年3月)として各地方整備局等に通知された改定版に反映されているところである。

道路構造物としての舗装の要求性能に関する調査検討

Research on required performance of pavement as a part of road structure

(研究期間 令和元年度～令和3年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室	室 長	渡邊 一弘
Road Structures Department	Head	WATANABE Kazuhiro
Pavement and Earthworks Division	主任研究官	堀内 智司
	Senior Researcher	HORIUCHI Satoshi
	研究官	若林 由弥
	Researcher	WAKABAYASHI Yuya

Since pavement is not a structure that stands alone, but is built on foundations such as other road structures (bridge slabs, cutting and embankment) and the original ground, it is necessary to organize the relationship with these foundations. However, little information is available on the design of pavements in special areas such as bridges and tunnels. In addition, since there have been almost no results of surveys on serviceability, there is a lack of basic data for examining the limit state of pavement.

In this study, the author surveyed the current state of design and construction of pavement in special areas and created an investigation manual for fixed-point investigations to collect basic data.

〔研究目的及び経緯〕

現行の道路舗装の技術基準である「舗装の構造に関する技術基準」(以下、「技術基準」)は平成13年に発出され、舗装に要求される性能を規定することで材料や設計・施工方法等を限定しない性能規定化がなされた。しかし、技術基準においては、施工直後に確認される性能指標値が基準値を満足することとされており、それと性能指標値が本来指し示す性能や、またその性能が保持される期間(耐久性)との関係が必ずしも明確になっておらず、ライフサイクルコスト(LCC)の観点からも技術の相違が適切に反映されていないという課題がある。

舗装は単体で成立する構造物ではなく、施工の基盤となる構造物(橋梁床版や切土・盛土)や原地盤の上に構築されるものであることから、舗装に求められる性能について、これら基盤との関係についても整理が必要である。一方、橋梁上の舗装やトンネル内といった特殊部の舗装については、体系的な調査研究がなされておらず、供用され得る状態を検討するための基礎データが不足している状況にある。

本研究では、様々な箇所の舗装に求められる性能や許容され得る状態を検討するため、現在特殊部の舗装に対して行われている設計施工の実態について調査するとともに、供用性に関する基礎データを収集するための定点調査のマニュアルを作成した。

〔研究内容〕

はじめに、橋梁上の舗装やトンネル内の舗装の設計の考え方や品質管理基準、出来形管理基準について、各道路管理者がホームページ等で公開している設計要領や設計業務等共通仕様書、出来形・品質管理基準で

の記載情報を調査し、現状を把握した。調査対象は、47都道府県、6政令指定都市(仙台市、新潟市、横浜市、川崎市、静岡市、広島市)、10地方整備局等、3高速道路会社(東日本高速道路株式会社、首都高速道路株式会社、阪神高速道路株式会社)とした。収集結果を表-1に示す。

続いて、令和5年度以降に舗装の供用性データを取得するための定点調査を実施するにあたり、統一した調査方法やとりまとめ結果、その他留意事項を整理した定点調査マニュアルを作成した。

〔研究成果〕

(1) 特殊部舗装に関する設計施工の実態把握

はじめに、各道路管理者が公表している設計要領を確認した。橋梁上の舗装について、多くの道路管理者が表層材料や基層材料、及び各層の厚さを具体的に指定しており、仕様規定となっていた。しかし、一部の道路管理者では、交通量や縦断勾配や気候条件などを元に材料を使い分けた例が確認された。群馬県の設定例を表-2に示す。一方、トンネル部の舗装については、ほとんどの道路管理者の設計要領に記載がなく、明かり部と同様の考え方で設計されていると考えられるが、例えばトンネル内に床版がある場合の舗装の設計の考え方などについては、今後検討を進める必要があると考えられる。

表-1 資料の収集結果

整理対象		都道府県	政令指定都市	地方整備局	高速道路会社
設計要領	橋梁	23/47	6/6	10/10	3/3
	トンネル	13/47	2/6	7/10	3/3
出来形管理基準		46/47	5/6	10/10	3/3
品質管理基準		45/47	5/6	10/10	3/3

※本報告は令和3年度当初予算の標記の研究課題を令和4年度に継続して得た結果をまとめたものである。

表-2 橋梁上の舗装材料の設定例（群馬県）

交通量	車道（舗装厚 80mm 2層仕上げ）				歩道（舗装厚 30mm 1層仕上げ）	
	基層（40mm）	表層（40mm）			一般地域	積雪地域
		一般地域	積雪地域	勾配 6%以上		
N ₁ ~N ₃	密粒度アスコン(20) [改質Ⅱ型]	密粒度アスコン(13) [改質Ⅰ型]	密粒度アスコン(13) [改質Ⅰ型]	密粒度キヤップ アスコン(13) [改質Ⅰ型]	密粒度アスコン(13) (再生も可)	密粒度アスコン(13) (再生も可)
N ₄						
N ₅	密粒度アスコン(20) [改質Ⅱ型]	密粒度アスコン(20) [改質Ⅱ型]	密粒度アスコン(20) [改質Ⅱ型]	密粒度アスコン(20) [改質Ⅱ型]		
N ₆						
N ₇	密粒度アスコン(20) [改質Ⅲ型-W]	密粒度アスコン(20) [改質Ⅲ型-W]	密粒度アスコン(20) [改質Ⅲ型-W]	密粒度アスコン(20) [改質Ⅲ型-W]		

表-3 定点調査の項目

As：アスファルト Co：コンクリート

調査内容	土工上		橋梁上		トンネル内	
	As舗装	Co舗装	As舗装	Co舗装	As舗装	Co舗装
ひび割れ展開図	○	○	○	○	○	○
横断 プロファイル	○	-	○	-	○	-
縦断 プロファイル	○	○	○	○	○	○
目地材の 劣化状態調査	-	○	-	○	-	○
FWD調査	○	○	-	○	○	○
電磁波レーダ	○	-	○	-	○	-
すべり抵抗値	○	○	○	○	○	○
きめ深さ	○	○	○	○	○	○
コア採取	△	△	△	△	△	△

○：調査対象 -：調査対象外 △：目的に応じて実施

続いて、各道路管理者が公開している品質管理基準や出来形管理基準について確認した。その結果、東京都では設計施工要領の中で独自の管理基準を設けていたが、それ以外の全ての道路管理者は、国土交通省が公表している管理基準と同じ基準を用いていた。トンネル内については、設計要領同様にほとんどの道路管理者の設計要領に記載がなく、明かり部と同様の考え方で施工されていると考えられる。今後、設計の前提を満足するための施工条件などについて、引き続き検討していく必要があると考えられる。

(2) 舗装の定点調査マニュアルの作成

土工上のアスファルト舗装、コンクリート舗装、橋梁上のアスファルト舗装、トンネル内のコンクリート舗装の4種類の舗装について、供用性データとして取得すべき調査内容やその様式について整理した。表-3にそれぞれの箇所の調査項目を示す。

例えば、土工上の舗装では、路床に対して交通荷重を分散する性能を確認するために、舗装たわみ測定装置（FWD）による調査を実施する。一方、橋梁上の舗装では、床版が交通荷重を支える設計になっているため、舗装に荷重を分散する性能は求められてお



図-1 定点調査のフロー

らず、FWD 調査は実施しない。一方で、舗装のひび割れなどを通じて床版に水が浸入すると土砂化を引き起こし床版の早期破損につながるため、水の浸入を把握するための電磁波レーダー調査を実施する。

このほか、舗装の劣化に影響を与える環境条件などの机上調査の手法もとりまとめ、マニュアルを作成した。図-1に調査のフローを示す。マニュアル内では、単に各種調査の方法をまとめただけでなく、同じ箇所を定期的に調査し、比較するための留意点についても記載した。

[成果の活用]

今回実施した特殊部舗装における設計施工の実態調査の結果や、作成した定点調査マニュアルに基づき取得した様々な箇所の舗装の供用性データを踏まえ、より合理的な舗装設計を行うことができるような設計体系を提案し、令和4年11月の社会資本整備審議会道路分科会道路技術小委員会にてキックオフした技術基準の改定や関連する技術図書への反映を目指す。

舗装の長寿命化に向けた維持管理手法に関する調査検討

Research on the maintenance method for extending the life of pavement

(研究期間 令和2年度～令和4年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室
Road Structures Department
Pavement and Earthworks Division

室 長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

渡邊 一弘
WATANABE Kazuhiro
堀内 智司
HORIUCHI Satoshi
若林 由弥
WAKABAYASHI Yuya

Since the renewal cycle of pavements is short and the amount of stock is huge, it is an urgent issue to reduce the life cycle cost by extending the service life under an appropriate maintenance cycle. In this background, the "pavement inspection guidelines", formulated in October 2016, requires road administrators to try to extend the life of pavements by maintaining them with an awareness of the number of years until the next repair.

In this research, for further rationalization of pavement management based on the "pavement inspection guidelines", we organized the inspection results of national highway for the past five years and overseas cases of calculation methods for the life cycle cost of pavement at the design stage.

[研究目的及び経緯]

道路構造物を管理する国や地方自治体等では人口減少や少子高齢化に伴う技術者不足や財政難が深刻化している。その中でも舗装は更新周期が短いストック量が膨大であるため、メンテナンスサイクルを確立し、長寿命化によるライフサイクルコスト削減を目指すことが喫緊の課題である。こうした中、平成28年10月に「舗装点検要領」が策定され、道路管理者が道路を交通量や路線の重要度等に応じて4つの区分(A～D)に分類し、メリハリをつけた管理を行うことが示された。直轄国道については、平成29年3月に直轄版の「舗装点検要領」(以下、「直轄版点検要領」とする。)が示され、全ての直轄国道について5年に1度定期的に点検を行うことなどが示されており、平成29年度から令和3年度に全直轄国道の一巡目点検が終了した。

本研究では、舗装点検要領に基づく舗装マネジメントのさらなる合理化を目的とし、直轄版点検要領に基づき実施された直轄国道の一巡目点検結果について整理した。さらに、設計段階における舗装のライフサイクルコスト(以下、「LCC」とする。)の算定手法について、国外の事例を整理した。

[研究内容]

平成29年度から令和3年度の5年間に実施された舗装点検結果について、点検データの整理を実施した。表-1に各地方における点検を実施した車線延長を示す。平成29年度から令和2年度の点検データの合計は46,597kmであり、令和3年度の点検データ14,899kmを加えて合計61,496kmとなった。これらのデータについて、使用目標年数や表層の供用年数と健全性診断結果などの整理を行った。

[研究成果]

分類Bのアスファルト舗装における、使用目標年数の設定状況を図-1に示す。直轄版点検要領では、分類Aの直轄高速道路のアスファルト舗装について使用目標年数を当面設定しないこととされている。使用目標年数の割合としては「13年」と設定されている場合が約45%と最も高く、次いで「14年」や「17年」、「10年」が高くなっている。アスファルト舗装の長期保証制度においては、導入時には13年後の性能担保を見据えて3から5年後の性能保証を求めていたこと、技術基準制定(平成13年)以前のアスファルト舗装の設計期間は10年とされていたこと、さらには修繕実績や劣化予測を踏まえて適宜設定されたものと考えられる。舗装点検要領では、使用目標年数よりも早期に修繕が必要な状態になった区間について、詳細調査を実施し適切な修繕設計を行うことが示されており、今後早期劣化区間の解消により使用目標年数が長くなることが考えられる。そのため、2巡目以降の使用目標年数の設定状況についても引き続き把握していく必要がある。

表-1. 点検実施道路延長の内訳

点検延長(km)						
地整	H29	H30	R1	R2	R3	計
北海道	2,310	3,143	3,583	3,088	2,676	14,801
東北	1,298	1,357	1,651	1,823	2,963	9,092
関東	1,409	1,430	1,149	1,251	2,002	7,242
北陸	611	760	492	743	1,269	3,875
中部	1,341	1,141	1,089	1,207	1,936	6,715
近畿	634	1,040	1,251	511	1,180	4,616
中国	3,956	228	119	0	227	4,528
四国	209	144	880	1,471	634	3,338
九州	572	1,500	1,091	1,176	1,807	6,146
沖縄	142	340	207	252	205	1,145
計	12,481	11,082	11,513	11,522	14,899	61,496

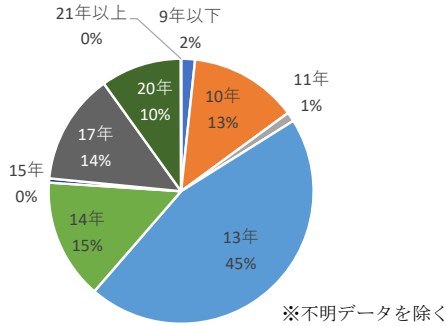


図-1. 使用目標年数の設定状況 (分類Bのアスファルト舗装の車線延長の割合)

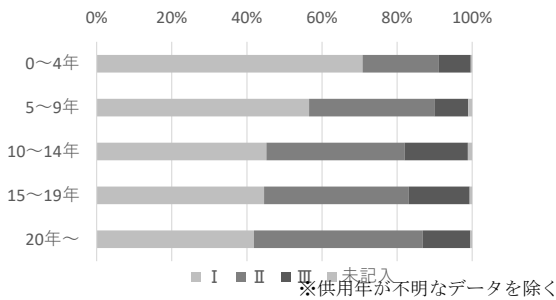


図-2. 表層の供用年数別の健全度 (アスファルト舗装の車線延長の割合)

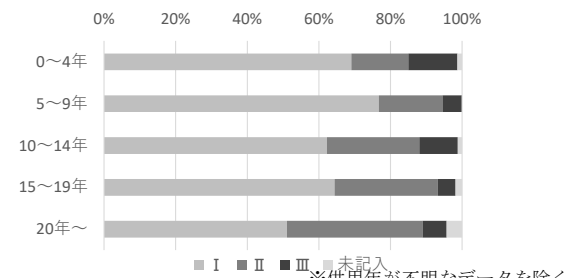


図-3. 表層の供用年数別の健全度 (コンクリート舗装の車線延長の割合)

表層の供用年数別の健全性結果を図-2、図-3に示す。アスファルト舗装は、経過年数が長くなるにつれて健全度Ⅱ及びⅢの延長割合が高くなり、状態が悪くなる傾向が見られた。また、コンクリート舗装も同様の傾向がみられるものの、その延長割合は比較的lowく、健全度Ⅰの状態を維持している割合が高いことが分かる。コンクリート舗装は従前よりアスファルト舗装に比べ

て耐久性に優れているとされているが、直轄国道の実務における点検結果からも証明するものとなった。

次に、設計段階における舗装のLCCの算定手法について、国外の事例を整理した。文献収集が可能であり、かつ収集文献に修繕間隔の設定方法などの必要情報が5項目以上記載されていた4地域(A米国テキサス州、Cカナダオンタリオ州、E英国イングランド、Gオーストラリア)を調査対象に選定し、各地域の舗装LCCの算出手法を調査した。

調査対象地域のLCC算定項目について調査した結果を表-2に示す。道路管理者費用だけでなく、道路利用者費用や、沿道及び地域社会の費用について、具体的な算出方法を示したマニュアルを整備している地域があるものの、その多くは必須項目ではないことがわかった。

LCCの中で多くの割合を占める修繕費用を算出する際に必要となる修繕間隔の設定について、海外では工法や舗装構成に応じた標準的な耐用年数を明示し(表-3)、また、繰り返し修繕する場合には修繕間隔が短くなるように設定している場合があることもわかった。

【成果の活用】

研究成果は、2巡目の点検結果と比較し、点検要領を導入したことにより道路管理者が実施した措置の効果を検証するための基礎資料とするとともに、点検要領改定時に点検結果の整理方法の参考とするべく、技術図書などに反映していく予定である。また、海外の事例を踏まえ、国内のLCC算定手法を提案し、技術図書などへの反映を目指す。

表-3. 舗装打換え/修繕間隔の設定方法

地域	舗装打換え/修繕間隔の設定方法
A	州の実績データまたは対象地区の交通量が同等の10件以上の工事実績に基づいて設定
C	・ 州の舗装LCCガイドラインが示す平均耐用年数の適用を推奨 ・ 平均耐用年数は、州高速道路の舗装修繕データ調査および舗装破損解析により算出した数値
E	過去の修繕データや類似の材料性能を参考に設定

表-2. 調査対象地域のLCC算定項目

調査地域	調査文献における活用場面	道路管理者費用						道路利用者費用							沿道及び地域社会の費用		
		調査計画費用	建設費用	維持管理費用		修繕費用	関連行政費用	車両走行費用			時間損失費用		その他の費用	環境費用/便益	その他の費用		
				調査費、設計費	建設費、現場管理費			維持費	除雪費	補修・再建設・廃棄処分費等	広報費	工事規制区間を通行				工事規制区間や渋滞区間による減速	迂回に伴う車両走行費用
米国 テキサス州	プロジェクトレベル	●	●	●	-	●	-	○	○	○	-	○	○	-	-	-	○
	ネットワークレベル	-	-	●	-	●	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
カナダ オンタリオ州	プロジェクトレベル	-	●	-	-	●	-	○	○	-	○	○	-	-	-	研究開発中	-
英国 イングランド	プロジェクトレベル	-	●	●	-	●	-	-	-	-	-	●	-	-	-	-	-
オーストラリア	不明	●	●	●	-	●	-	-	-	-	○	-	-	-	-	-	-

【凡例】●：マニュアルありかつLCC算出必須項目、○：マニュアルあり