

データに基づき長寿命化を促す 道路舗装マネジメントの充実に向けて

—土地の成り立ちや修繕履歴などの情報を駆使した修繕設計の提案—



道路政策グループ
副総括（首席研究員）
皆方 忠雄



道路政策グループ
首席研究員
畦地 拓也



道路政策グループ
研究員
白尾 仁知



道路政策グループ
主席研究員
金盛 隆



道路政策グループ
総括（研究主幹）
牧野 浩志

1 はじめに

一般財団法人国土技術研究センター（以下、JICE）は、国土交通省道路局から、2020年に道路舗装の新技術導入促進機関、2021年には全国道路施設点検データベース（舗装）（以下、道路舗装DB）の整備・管理運営機関に指定され、舗装マネジメントの政策立案や展開の支援に取り組んでいる。

これらの取り組みの背景には、2012年12月の中央自動車道笹子トンネル天井板落下事故を契機にインフラの老朽化問題が再認識され、国土交通省が、2013年を「社会資本メンテナンス元年」と位置づけ、道路施設の老朽化対策に関する各種施策を進めてきたことがある。道路舗装（以下、舗装）に関しては、2016年10月に「舗装点検要領¹⁾」が制定され、国土交通省が管理する直轄国道では、5年間で全区間の点検を行うこととされた。点検は2021年度で1巡目が完了し、全国統一の道路舗装DBに情報が登録された。この情報を分析することで、直轄国道の舗装の老朽化の全貌を把握することが可能となった。

そこでJICEでは、デジタル化された舗装の点検結果を活用して、行政経営手法²⁾を取り入れ、成果を評価し業務プロセスを改善していくための方策について検討を行った。具体的には、舗装マネジメントの課題を的確に把握し、克服していくための要素の分析を行い、舗装マネジメントを予防保全型に早期に転換していくための業務プロセスの改善策を議論している。

本稿では、舗装マネジメントの業務プロセスの課題について、道路舗装DBを活用して分析した早期劣化の要因の整理を踏まえ、業務プロセスの改善提案として「土地の成り立ちにも着目した新たな修繕設計方法（案）」について報告する。

2 舗装マネジメントの改善

2.1 行政経営手法の舗装マネジメントへの導入

JICEでは、道路舗装DBの整備・管理運営機関の責務として、効率的にサービスレベルを高めるデータに基づいた合理的な舗装マネジメントの政策支援に取り組んでいる。

データを活用した行政経営手法を舗装マネジメントに転換していくための考え方として、図1に示すようなPDCAプロセスを前提として考えた。これは、これまでの行政におけるDB構築が、その構築自体が目的となり、DBが活用しにくかったり、活用されなかったりといった事例が散見された反省を踏まえたものである。道路舗装DBの具体的設計に当たっては、この行政経営手法の思想に基づき「目的に照らして成果を評価しプロセスを改善すること」を設計思想として取り入れて構築を行っている³⁾

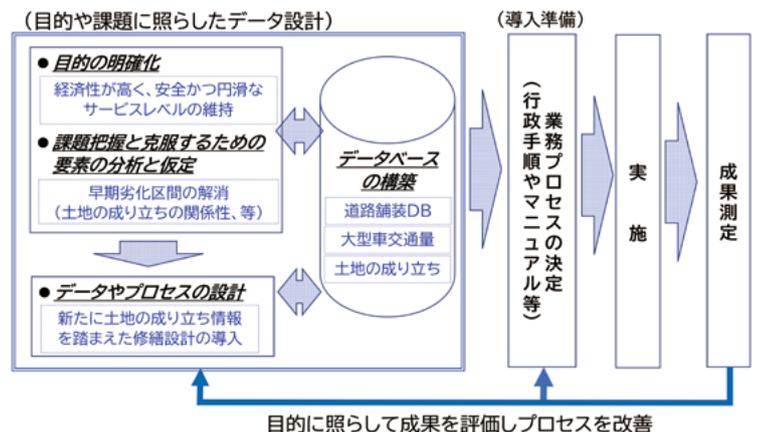


図1 データによるマネジメントの道路舗装への導入

2.2 舗装の構造に関する技術基準の変遷

(1) 舗装の持つべき性能

舗装は自動車や歩行者等が直接通行するインフラである。そのため、舗装の構造的な耐久性や走行の安全性や快適性はもとより、さらには沿道環境や地球環境などの環境性能、被災時の速やかな緊急車両等の通行のための耐災性能など、多岐にわたる性能が求められる。

具体的に舗装が具備すべき性能は道路構造令に定められている。道路構造令の第23条2項では、自動車の輪荷重49キロニュートンに対して、自動車の安全かつ円滑な交通を確保する性能（耐荷性能）が定められている。

(2) 舗装の構造の基準

「車道及び側帯の舗装の構造の基準に関する省令（2001年）」と「舗装の構造に関する技術基準・同解説（2001年）」では、性能規定化が行われ、道路利用者、国民、地域社会の多様なニーズに応えるため、舗装の設計期間、舗装計画交通量、性能指標等は道路管理者が定めるとされ、具体的な仕様が限定されていない。また、具体的な性能水準として疲労破壊に対する耐久性、わだち掘れに対する抵抗力、路面の平坦性などの4項目で定められた。

ここで、老朽化問題に関連する耐久性に関しては、舗装では設計期間として定義され、輪荷重を繰り返し受けることにより舗装に疲労破壊によるひび割れが生じるまでの期間を意味する。具体の期間は道路管理者が定めることとなっており、一般国道では20年が目安として解説されている⁴⁾。

また、舗装の建設（舗装の新設あるいは打換え）から次の建設までを舗装のライフサイクルと定義し、道路管理者は調査、計画、設計、施工、管理、調査、計画…という一連の行為を取ると解説されている。表層の打換えは（設計期間より）もっと短いサイクルで行われることもあるとの解説もあるが、この表層の打換えや設計期間が過ぎた後の打換えといった舗装のマネジメントサイクルについて具体的な記述はない。

(3) 舗装点検要領の狙い

2016年に定められた舗装点検要領では、点検、診断、措置、記録というメンテナンスサイクルが定義され、耐久性を意識した舗装マネジメントへの転換が行われた。

また、道路のサービスレベル（道路の分類A～Dの4区分）に応じた点検手法の規定化が図られ、特に大型車交通量が多く損傷の早い道路（分類A、B）においては、修繕サイクルなどの時間的概念による長寿命化への意識改革を目的として、新たに使用目標年数を設定して点検診断を行うこととしている。

使用目標年数は、きめ細かな管理を通じた長寿命化に向けて、表層を使い続ける目標期間として各道路管理者が設定する年数であり、この年数より早期に修繕に至る損傷が発生（以下、早期劣化）した場合は、路盤以下の層の損傷も想定した詳細調査を実施して早期劣化の要因に対応した措置（修繕）を実施する必要がある。

2.3 舗装マネジメントの目的の明確化

老朽化問題に対応するための舗装マネジメントを考える上

で大切なのが耐久性に関する性能をどのように把握・評価して長寿命化していくかという視点である。耐久性に関しては、2001年の技術基準では、舗装の設計期間という時間概念が導入され、輪荷重に対する疲労破壊を想定した設計手法が取り入れられた。しかしながら、実際の舗装の維持修繕の業務プロセスの中では、増大するインフラストックに対して、維持修繕が追いつかず、壊れたところを直すという事後保全に終始せざるを得ない状況が続いてきた。

それに対して、2016年の舗装点検要領では、早期劣化の存在を意識し、表層の供用年数である使用目標年数というマネジメントの目標、さらに点検、診断、措置、記録のメンテナンスサイクルという概念が導入され、耐久性を意識した舗装マネジメントへの転換が明確に打ち出されている。

このような背景と図1の思想を踏まえ、本検討では舗装マネジメントの目的として、「予防保全型の修繕サイクルへの転換により舗装の長寿命化を図り、経済性が高く、長期間に渡り安全かつ円滑な交通へのサービスレベルが維持される」と設定した。その上で、データにより現状の整理や課題の抽出を行い、その発生要因を解明し、この結果を業務プロセスの改善に反映するとともに、KPI（Key Performance Indicator: 重要業績評価指標）による成果測定・評価を行うマネジメントサイクルを検討した。

2.4 舗装修繕の業務フローにおける課題

本検討に先立ち、現場で実際に行われている舗装修繕の業務の流れや内容をヒアリングして整理し、業務フロー分析により課題を抽出した。

この結果より、早期劣化区間で路盤以下の損傷が懸念されるにも拘わらず、詳細調査や修繕設計を行わずに工事発注しているケースが確認された。前述のとおり、早期劣化区間では路盤以下の損傷も想定した詳細調査に基づく適切な措置を必要である。しかし詳細調査を実施していないため、路盤以下の損傷を見逃した状態での表層・基層の切削オーバーレイ工により、修繕後に早期劣化が発生することが懸念される。

そこで、業務プロセスの改善の一つとして、合理的に詳細調査や修繕設計を実施する方法についても提案することとした。

3

土地の成り立ちに起因した早期劣化の解明

3.1 道路舗装DBを活用した劣化状況の分析

国土交通省が管理する約2万kmの直轄国道では、2021年度で1巡目の点検が完了している。この点検結果や新設・修繕工事等のデータは、道路舗装DBに蓄積され、道路管理者の舗装マネジメントに活用できる。また、一般にも公開され、だれでも平易にデータ収集・分析が可能となっている。道路舗装DBの概要を図2、入手できる主なデータを表1に示す。

最初に、現状と課題を把握するため、点検1巡目データを用いて舗装の劣化の実態を分析したところ、要修繕と判定され

るまでの前回修繕時からの経過年数（以下、供用年数）は全国平均で約 17 年であった。なお、適切な修繕が行われた区間では供用年数が約 21 年に対して、早期劣化区間では約 9 年と大きく短期化することが判明した。この早期劣化区間が要修繕区間の約 2～3 割有り、舗装の長寿命化に向けては、早期劣化区間の解消が重要な課題として抽出された。

そこで、道路舗装 DB や損傷要因に関する各種データを駆使して早期劣化の要因を解明し、この要因に着目した調査や修繕設計の方法を検討することとした。

表 1 道路舗装 DB より入手できる主な情報

【点検・診断情報】 ・点検計画、使用目標年数 ・点検結果(ひび割れ、わだち掘れ、平坦性(IRI)) ・点検時写真 ・詳細調査結果(FWD調査、コア採取、等)
【舗装構成情報(工事情報)】 ・舗装構成 ・工事年月、使用材料、施工厚、修繕理由、施工会社、等
【舗装設計情報】 ・計画交通量区分、設計CBR、設計期間 ・設計業務情報(成果品特定情報)

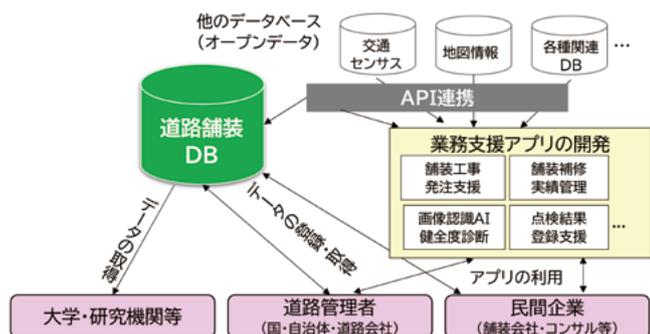


図 2 道路舗装 DB の概要

3.2 舗装の早期劣化の主要な要因

アスファルト舗装の損傷の要因として下記の事象³⁾がある。

- ・交通条件の変化 (大型車交通量の増加等)
- ・アスファルト混合物の層間剥離
- ・損傷した部分の残置
- ・路盤、路床、地盤の支持力低下
- ・条件の変化 (異常気象による路床や路盤の凍結)

このうち、早期劣化の主な要因としては、「外力 (大型車の軸重) による表層の損傷」や「雨水の浸透などによる路盤の損傷」が一般に言われている。しかし、この2つの要因では説明

できない早期劣化も存在することから、公開されている様々なデータを駆使して損傷要因の分析を行った。事象 (損傷) としては「点検結果」や「修繕履歴」などの道路舗装 DB のデータ、ハザード (損傷因子) としては大型車交通量や路床以下の地盤状態 (以下、原地盤) に関するデータを用いて要因分析を行った。なお、原地盤の評価には地理院地図の土地の成り立ち情報で軟弱な地盤を表している「明治期の低湿地」と「治水地形分類図」を使用した。本分析で構築したデータベースの構成を図3に示す。

3.3 点検データ等の分析による新たな劣化要因の解明

要因分析の結果より、従前より言われている「外力 (大型車の軸重) による表層の損傷」、「雨水の浸透などによる路盤の損傷」の他に、路床・地盤の支持力低下となる「原地盤の状態 (軟弱な地盤)」に起因と推察される早期劣化が確認された。

そこで、早期劣化に土地の成り立ち (軟弱な地盤) も影響していると仮説を立て、比較的軟弱な地盤上を多く通過する国道

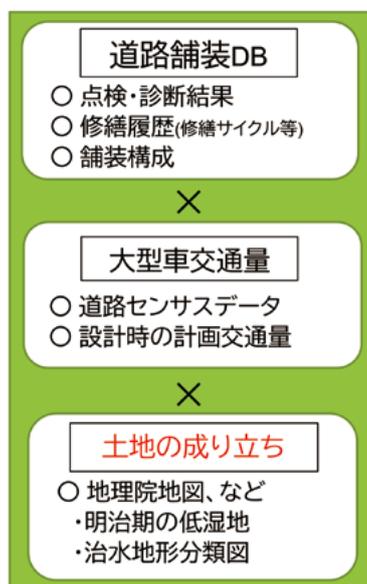


図 3 分析で構築したデータベースの構成



図 4 早期劣化と土地の成り立ちの関係性の分析 (国道 16 号 大宮付近の事例)

16号の大宮～岩槻間において、早期劣化区間と土地の成り立ちの関係性を分析し、この影響度合いを検証した。図4は地理院地図に国道16号の点検結果を表示し、さらに軟弱な地盤である明治期の低湿地を重畳表示したものである。道路上に示す赤ラインが早期劣化区間を示しているが、その大半が明治期の低湿地（黄色部）を通過していることが判る。現在の地盤状況である「治水地形分類図」でも検証したところ、大半が軟弱な氾濫平野や後背湿地であり、同様の結果であった。

さらに検証を拡大して国道16号全線を対象に検証したところ、早期劣化区間の約3割が明治期の低湿地を通過しており、早期劣化と土地の成り立ち（軟弱な地盤）との関係性が高いことが判明した。これは、これまで定性的に言われてきた「地下水位の高い軟弱な地盤も舗装劣化に影響する」をデータより解明したものであり、舗装の修繕設計においては、土地の成り立ち情報も重要なファクターとなる。

そこで、新たに土地の成り立ちにも着目し、下記の3要素を踏まえた調査・設計に基づく修繕設計方法を検討した。

- ① 外力（大型車の軸重）等による表層等の損傷
- ② 雨水の浸透などによる路盤の損傷
- ③ 原地盤（路床以下）の支持力不足による損傷

4 土地の成り立ちにも着目した新たな修繕設計（調査）の提案

4.1 損傷要因に応じた調査・設計の実施

舗装点検要領と2023年3月に発行された「アスファルト舗装の詳細調査・修繕設計便覧⁵⁾（以下、調査・設計便覧）」では、早期劣化区間（点検の診断区分Ⅲ-2）や、通常の劣化区間（Ⅲ-1）

で路盤以下の健全度に不安がある区間は、詳細調査により路盤以下の状態を把握し、修繕設計を行うこととしている。

調査・設計便覧では、路盤以下の損傷の調査方法の一例として、FWD調査によりたわみ量を測定し、たわみ量より残存等値換算厚等を算出して各層の健全度や支持力を評価する方法等が示されている。しかし、FWD調査の実施にあたって交通規制が必要となり、交通量の多い道路では調査対象の全ての区間で行うことは実務上困難なことが多い。これに対して、データに基づく机上での損傷要因や範囲の推定（以下、机上調査）は全数の調査が可能であるが、机上調査はあくまでも損傷要因等の推定であり、実際の路盤以下の支持力を調査しておらず、誤った推定による不適切な修繕設計のリスクも懸念される。そこで、今回新たに解明した「土地の成り立ち情報」にも着目し、詳細調査と机上調査の両方の利点を組み合わせて、調査・設計便覧を補完して合理的に修繕設計等を行うための、調査・修繕設計判定フローチャート（案）を作成した。そのフロー（案）を図5に示す。

4.2 土地の成り立ちにも着目した新たな修繕設計

（1）調査・修繕設計判定フローチャート（案）のポイント

この判定フローチャート（案）では、既知の損傷要因に加え、今回データ分析により新たに解明した土地の成り立ちの影響にも着目したデータに基づく修繕設計（調査）のフローとなっている。また、調査、設計を合理的に行うため、机上調査で損傷要因等を推定のうえ調査区間を選定して詳細調査を行い、その結果に基づいて的確な修繕設計を行うことをポイントとしている。また、実際に調査、設計、工事を行う現場の方々を理解して実践できるように、極力簡易で理解しやすいフローチャート

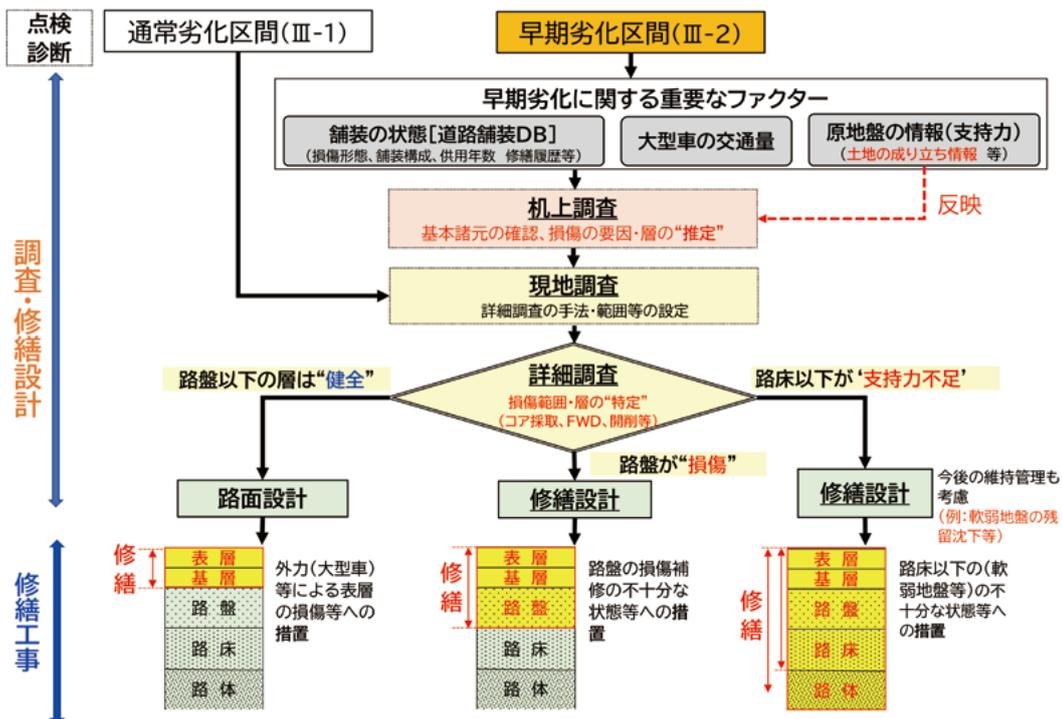


図5 土地の成り立ちにも着目した新たな調査・修繕設計フローチャート（案）

としている。なお、簡易フローは概念を理解してもらうものであるが、これに加えて詳細な判定フローチャートも作成している。また、現在はこのフローチャートに基づき現場において容易に詳細調査や修繕設計を行うためのマニュアルを作成中である。

(2) 損傷要因や損傷範囲の推定 (机上調査)

点検診断より早期劣化 (Ⅲ - 2) と判定された区間は路盤以下の損傷が想定されるため、机上調査により損傷要因や損傷範囲 (層) の推定を行う。

机上調査では、早期劣化の重要なファクターである「舗装の状態 (損傷形態、修繕サイクルなど)」「大型車交通量」、「原地盤の状態 (路床以下の支持力)」などのデータを活用して要因分析を行う。なお、各々のデータは前述のとおり一般に公開されており、平易かつ汎用的なデータ分析が可能である。この結果より、損傷要因を「a: 外力 (大型車の軸重) による表層等の損傷」、「b: 雨水の浸透などによる路盤の損傷」、「d: その他の要因」の3要因に判定する。

さらに、土地の成り立ち情報により路床以下の原地盤の状態を分析し、損傷要因が a、b に該当せず原地盤が軟弱である場合は、「c: 原地盤 (路床以下) の支持力不足による損傷」と損傷要因として推定する。なお、「d: その他の要因」のうち、表層のみの局部変形 (交差点のコルゲーション (車両の発進・停止による道路縦断方向の路面凹凸) やタイヤによる路面の摺り切りなど) で、路盤以下は健全と判定される場合は、効率的に調査を実施するため詳細調査の対象より除外し、コア調査等による現地確認を行うこととする。

(3) 損傷要因や損傷範囲の確定 (詳細調査)

机上調査の結果を基にして詳細調査を実施する。まず「a: 外力 (大型車の軸重)」、「b: 路盤の損傷」で損傷層が路盤までと推察される場合は、FWD 調査等により舗装各層の支持力を評価して損傷要因等を確定する。

次に「c: 原地盤の支持力不足」については、調査範囲が路床や路体と深部となるため、それに適した詳細調査が必要となる。現在の FWD 調査では調査可能範囲が路床までであり、路体の調査には適していない。また、開削調査は路床、路体の原位置調査が可能で各層の状態把握が可能であるが、調査に多大な時間とコストを要するため、供用中の道路で交通規制を行いながら調査を行うには制限が伴う。このため当面は、路床までは FWD 調査を行い、それより以深は、舗装の劣化状態と地理院地図の土地の成り立ち情報による判定と、劣化状態が類似する過去の詳細調査や修繕履歴データなどを活用して、舗装の調査・設計に関して経験と知識を有する専門家がデータより損傷要因等を確定することとした。なお、路床以下の原地盤の調査は、FWD 調査も含めた合理的な調査方法の開発が望まれる。

(4) 修繕工法の選定

詳細調査により損傷要因と損傷範囲 (層) を確定した後、これに基づく修繕設計、工事を行う。外力 (大型車) によるわだち掘れやわだち割れ、アスファルト混合物の経年劣化などによるひび割れなど、表層・基層のみの損傷の場合は、路面設計により修繕工法を選定する。通常は、表層・基層の切削オーバー

レイ工が用いられる。

これに対して路盤以下の損傷がある場合は修繕設計を行い、損傷要因と損傷範囲 (層) に応じた適切な修繕工法を選定することが長寿命化の視点から重要となる。路盤まで損傷している場合は通常、舗装全体の機能回復 (T_Aの回復) のため、損傷している全層を取り換える路盤打換工が用いられる。路床までの損傷の場合は、路盤打換工に加え、支持力を高めるための石灰、またはセメント安定処理による路床改良が必要となる。路体まで損傷が及んでいる場合は大規模な修繕が必要となり、工事期間やコスト、対策効果を勘案した最適な工法選定が必要となる。なお、路床以下の原地盤が軟弱地盤で残留沈下が大きい場合は、修繕後も沈下による早期劣化が懸念されるため、修繕設計では残留沈下量に留意した工法選定が必要である。

今回提案した調査・修繕設計フロー (案) は、調査・設計便覧と組み合わせて詳細調査を効率的に行い、調査結果より得られる損傷要因と損傷範囲 (層) に応じた的確な修繕設計、修繕工事を支援することを目的に提案するものである。これにより、現場においてデータに基づく適切な調査、設計、工事が行われることにより早期劣化区間が解消され、予防保全型の舗装マネジメントへの転換による長寿命化が図られることが期待される。

5 データを活用した修繕マネジメントによる舗装の長寿命化

JICE では、今回の提案の他に、耐久性の KPI を設定して PDCA サイクルにより目的である長寿命化を図り、LCC の最小化や滑らかな乗り心地の提供など、サービスレベルを効率的に高める舗装マネジメントの充実策を提案する予定である。

この方策の一例として、舗装点検要領における長寿命化を意識した使用目標年数に対する表層の供用年数を KPI とし、この供用年数を PDCA サイクルにより改善 (長期化) させて長寿命化を促す手法の概念を図 6 に示す。左図は地方整備局別 (以下、地整) の平均供用年数の平均を示したものであるが、B 局は使用目標年数 13 年を達成できていない。このケースでは、供用年数が短期となっている要因をデータより解明して、次タームでは使用目標年数を達成するように対策を施す必要がある。逆に C 局は、平均供用年数が約 17 年と使用目標年数 13 年を達成しているため、目標より長期化できた要因を分析の上、次タームでは目標年数を 17 年に引き上げて、更なる供用年数の改善を図る。このように各地整が供用年数を KPI とした PDCA サイクルで舗装修繕を行うことにより、全体の長寿命化に繋がることとなる。なお、ここで示す平均供用年数は、道路舗装 DB のデータを用いて JICE が独自に算出したものである。

また、この PDCA サイクルによる舗装修繕を現場で効率的に実施するためには、データに基づく修繕箇所や優先順位の精緻化、予算配分・執行の最適化などを支援するツール等を業務に実装することも有効であり、合理的な舗装修繕が行われるとともに、職員の業務負担も軽減されるため、これらの業務支援の提案も行っていく。

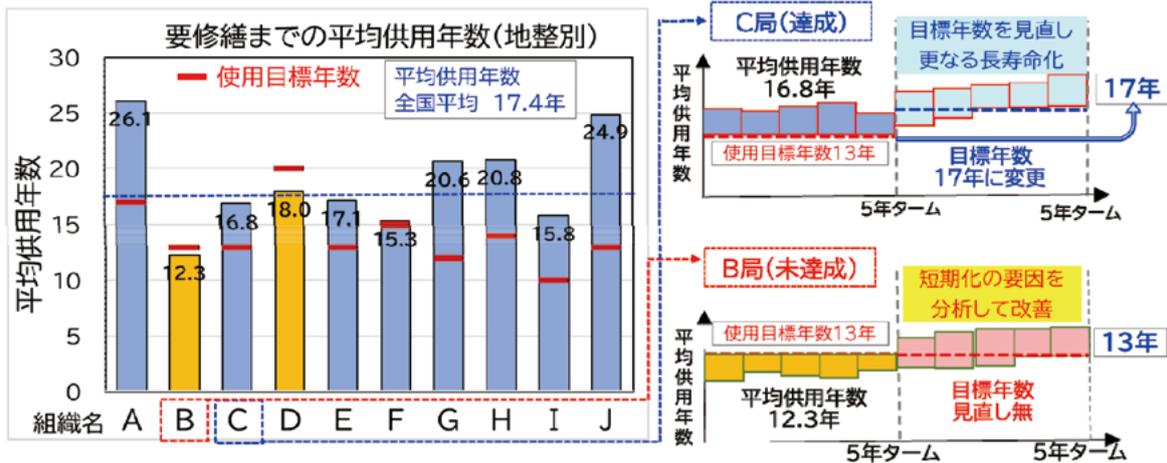


図6 供用年数をKPIとした舗装修繕マネジメントの概念

6 おわりに

今回は、直轄国道の舗装を対象として、2016年より導入された長寿命化の意識を促す舗装点検要領による点検1巡目の結果を分析した結果、修繕を要する区間の約2～3割が早期劣化区間であること、また、その区間で従来の損傷要因に加え、新たに土地の成り立ちに起因した早期劣化要因が解明された。

また、早期劣化区間を解消して予防保全型の舗装マネジメントによる長寿命化を支援するため、机上調査での損傷要因や損傷範囲の推定、損傷要因に着目した効率的な詳細調査、それに基づいた的確な修繕設計を合理的に行う方法を提言した。この方法を活かすためにも、舗装の基準類へ耐久性能やその性能の照査手法について具体的に組み込んでいくことも大切である。現在、日本道路協会で議論が進んでいるところであり、その動向が注目される。

基準類で重要なのが環境性能についてである。特に、インフラの長寿命化は脱炭素化への貢献の主要な施策に成り得る。JICEでは、舗装の長寿命化によるCO₂排出削減の定量化にも取り組んでいるところである。舗装の長寿命化によるCO₂排出削減の概念を図7に示す。この概念を活かしていくためにも、舗装の持つべき環境性能としてCO₂排出削減を位置づけていき、削減効果に対して適切な予算措置が可能となるような調達制度も含めた仕組み作りも重要である。

最後に、国土交通省道路局より舗装の長寿命化を図り予防保全を実現する「xROADを活用した次世代の舗装マネジメント1.0⁶⁾」が2023年5月の第9回道路技術懇談会で公表されたが、JICEにおいてもこの施策を積極的に支援していく所存である。

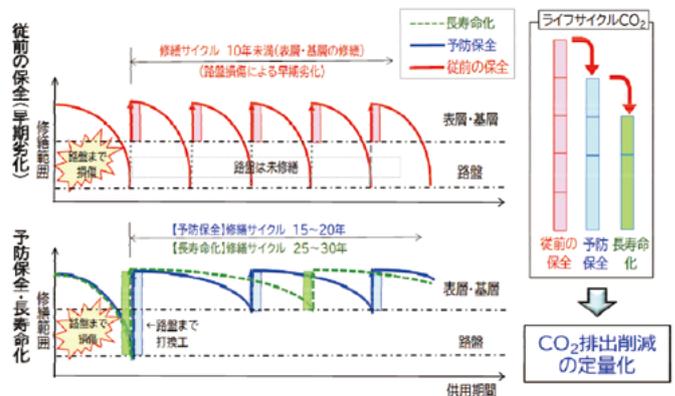


図7 舗装の長寿命化によるCO₂排出削減の概念

(参考) 全国道路施設点検データベースのご利用、お問い合わせは次のとおりです。⁷⁾⁸⁾

データ利用サービス申請窓口 <http://www.rirs.or.jp/tenken-db/>

内容	担当機関	担当部門	メールアドレス
基礎	一般財団法人日本みち研究所	みちメンテグループ	road_structures_db@rirs.or.jp
道路橋	一般財団法人橋梁調査会	橋梁データ管理室	bridge_db_desk@jbec.or.jp
トンネル	一般社団法人日本建設機械施工協会	施工技術総合研究所 研究第一部	tunnel_db_info@cmii.or.jp
道路附属物	一般財団法人日本みち研究所	みちメンテグループ	attachments_db@rirs.or.jp
舗装	一般財団法人国土技術研究センター	道路政策グループ	pavementdb@jice.or.jp (https://www.jice.or.jp/pavement_db/)
土工	一般財団法人土木研究センター		earthwork_db_desk@pwrc.or.jp

※上記機関は、国土交通省道路局が令和5年までの道路施設毎のデータベースの整備及び管理運営を行う機関として公募した結果、選定された機関です

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：舗装点検要領，2016年10月
- 2) 徳山日出男：行政経営の時代，日経BP社，2004年9月
- 3) 岸田真，他：道路舗装の予防保全の実現に向けた舗装データベースの活用，JICE REPORT 第41号，pp10-13，2022
- 4) 日本道路協会：舗装の構造に関する技術基準・同解説，2001年7月
- 5) 日本道路協会：アスファルト舗装の詳細調査・修繕設計便覧，2023年3月
- 6) 国土交通省道路局：第9回道路技術懇談会，xROADを活用した次世代の舗装マネジメントについて，2023年5月
- 7) 一般財団法人日本みち研究所ホームページ，全国点検データベースのご案内，<http://rirs.or.jp/tenken-db/>
- 8) 一般財団法人国土技術研究センターホームページ，全国道路施設点検データベース（舗装）
https://www.jice.or.jp/pavement_db