

11.6 積雪寒冷地における土木施設のマネジメント手法に関する研究(1)

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 22

担当チーム：寒地道路保全チーム

研究担当者：田高淳，石田樹，丸山記美雄，吉井昭博

【要旨】

積雪寒冷環境下での舗装の劣化傾向を的確に予測し、それらの維持修繕・補強を予防保全の観点から戦略的に
行い、ライフサイクルコストを低減する技術が必要不可欠である。本研究では、積雪寒冷地におけるわだち掘れ
やすり減り、クラックなどの舗装路面の劣化、舗装構造体の健全度評価と劣化を精度よく予測する手法と、維持
修繕費などの道路管理者費用と道路利用者費用のライフサイクルコスト(LCC)解析により最適な維持修繕・補強計
画シナリオを提供するためのシステムを構築することを目的とする。平成 18, 19 年度は、劣化予測手法の検討に
おいてはネットワークレベルにおける劣化予測手法としてマルコフ遷移確率モデルを作成、予防的修繕に対応す
る修繕工法の劣化予測曲線を作成、最新の路面性状データを用いて重回帰分析により予測精度を向上させた。維
持修繕シナリオの検討として、わだち掘れが車両挙動に与える影響検証およびマルコフ遷移確率モデルを用いて
長期的な維持修繕方針を検討した。さらに、現場利用を想定したサブシステムに予防的修繕を適用した場合の将
来予測、補修計画立案機能を追加し、現場担当者にヒアリングを実施してシステムの改善要望点を抽出した。
キーワード：舗装マネジメント、劣化予測、ライフサイクルコスト

1. はじめに

厳しい経済状況の下で公共事業の一層のコスト縮
減と品質を確保するには、その地域の条件にあった技
術を用い、規格を適切に設定することが必要である。
供用中の橋梁をはじめとする道路構造物の多くは高度
経済成長期に建設され、建設後数十年を経過してい
ることから、今後維持管理費が急増することは明らか
であり、これまで以上に効率的な維持管理が求められる。
また北海道は全国的にみて極めて特殊な気象特性をも
つため、土木施設の維持管理を行う場合、積雪寒冷環
境下に対応した特有の技術が求められる。たとえば舗
装では凍結融解作用、凍上、低温クラック等、橋梁で
は凍害、塩害といった積雪寒冷地特有の劣化要因の影
響を受けるため、これらに対応した技術が求められる。
今後より効率的に道路施設を保全してゆくためには、
積雪寒冷環境下での劣化傾向を的確に予測する手法と、
それらの維持修繕・補強を予防保全の観点から戦略的
に行い、LCC を低減する技術が必要不可欠である。本
本研究では、積雪寒冷地におけるわだち掘れやすり減り、
クラックなどの舗装路面の劣化、舗装構造体および橋
梁構造物の健全度評価と劣化を精度よく予測する手法
と、維持修繕費などの道路管理者費用と道路利用者費
用の LCC 解析により最適な維持修繕・補強計画シナリ

オを提供するためのシステムを構築する。

2. 調査研究の手法

2.1 舗装劣化度予測手法の開発

平成 17 年度に作成した、マルコフ遷移確率を用い
たネットワークレベルにおける路面性状予測モデルに
ついて、路面性状調査値(わだち掘れ量、ひび割れ率、
平坦性)と維持管理指数(MCI)の予測値と実測値を比
較検討し、モデルの適合性を評価した。また、後述す
る予防的修繕において主要工法のひとつである切削工
法の供用性曲線を作成し、従来工法である切削オー
バーレイ工法およびオーバーレイ工法の供用性曲線と
比較検討した。さらに、最新のデータである平成 11 年
から 18 年までの路面性状調査データを用いてひび割れ、
わだち掘れ量、平坦性の予測式を作成し、現在使用し
ている予測式との比較を行った。

2.2 舗装マネジメントシステムの検討・改良

現在、舗装の長寿命化と維持管理のコスト削減を目
的とした「予防的修繕」の導入が検討されている。予
防的修繕とは舗装の維持管理業務において、従来主
として行われてきた切削オーバーレイに代わり、シー
ル材のクラック注入や局部打換、切削工法を組み合わ
せた修繕工法であり、その中では既存舗装の破損状況

を段階的な基準で評価する指標として、MCI のような総合指標ではなく路面性状単指標(わだち掘れ量とひび割れ率)が挙げられている。そこで、舗装マネジメントシステムのサブシステムとして、予防的修繕工法に対応したシステムを作成・改良し、予防的修繕を行った場合の補修計画立案や将来推移予測ができるように改良を行う。改良したサブシステムの使いやすさや要望点を道路管理者からヒヤリングした。

2. 3 最適な舗装維持修繕シナリオの検討

積雪寒冷地での路面管理基準の基礎資料を得ることを目的とし、わだち掘れが走行する車両の挙動に与える影響、特に、積雪寒冷地の最も厳しい路面条件である凍結路面状態でレーンチェンジを行い、車両挙動の把握を行った。苫小牧寒地試験道路構内に最大深さ約 30mm の大型車のダブルわだちを再現した試験区間を作製し、実車走行試験により発生する車両挙動計測と官能評価を行いわだちの影響度合いを求めた。

マルコフ遷移確率モデルを使用し、今後約 25 年後までの構造物保全率[舗装]および路面性状調査値(わだち掘れ量、ひび割れ率、平たん性)と MCI の将来推移を予測して、長期的な維持修繕の方針を検討した。

3. 調査研究の成果

3. 1 舗装劣化度予測手法の開発

これまで用いられてきた回帰による路面性状予測式では、予測値がある一つの値に収まるため予測値と実測値が乖離することは不可避である。しかし、マルコフ遷移確率モデルを用いると、回帰式では乖離する値も確率付きで表現できるため、予測と実測の適合度は 100%となる(図 1)。このことから、回帰予測式を用いると予測精度には限界があるが、マルコフ遷移確率モデルを使用することにより、ネットワークレベルで予測精度の向上が期待できる。なお、一般国道の路面性状調査における同一箇所の計測間隔は 3 年間であることから、図 1 の予測-実測比較では 3 年遷移確率モデルを用いている。

路面切削工法の供用性曲線では、5 年後わだち掘れ量が約 23mm、切削オーバーレイやオーバーレイ工法では 15mm 程度となっており、切削工法後のわだち掘れ量の進行速度は他工法と比較して速いという結果を得た(図 2)。

また、最新のデータから作成した予測式は単回帰式 1 種類と重回帰式 3 種類(交通量、舗装厚、交通量と舗装厚を変数としたもの)であり、作成した予測式と現行の予測式を用いて算出した予測値と実測値を比較した結果(表 1)、作成した予測式的的中率が改善して

いる事がわかる。

3. 2 舗装マネジメントシステムの検討・改良

予防的修繕工法の修繕判断目安として用いられている、わだち掘れ量とひび割れ率、および複合条件による優先順位付けを可能とし、LCC を算出するシステムに改良した。従来のシステムは、主として予算を考慮した補修計画区分と管理目標値を固定した場合の補修計画区分に分類されており、それぞれ MCI と車両走行費用による評価であった。これらの補修区分へ予防的修繕の考え方を導入すると同時に、MCI・車両走行費用の改善額では説明しにくいことから、ひび割れ率とわだち掘れ量の路面性状指標を機能追加し、さらに予防的修繕を考慮した条件設定が行えるようにし、サブシステムの条件入力画面を図 3 の通り変更した。予防的修繕工法を適用した場合の補修候補箇所や工法を図 4 のように提示するシステムとなっている。改良したシステムでは、予防的修繕を適用した場合の将来推計も行うことができ、予防的修繕のみを適用した場合には、路面性状値が低下していく傾向となり、約 10 年後には構造物保全率[舗装]が 50%を下回り、補修面積も増大すると推測される(図 5、図 6)。改良したサブシステムに対するヒアリングの結果、操作や入力における改善要望が上げられており、今後より現場レベルの実用的なシステム作りに役立てたい。

3. 3 最適な舗装維持修繕シナリオの検討

今回の試験条件において、小型車では、乾燥路面ではわだち掘れの影響により走行安定性は低下傾向だが通常領域の安定性は保たれており、不安定挙動には至らないが、路面凍結状態では、わだち乗り越え時の引っ掛かりと乗り越え後の急激なヨーイング発生により非常に不安定挙動になりやすく大幅に安定性が低下した。これに対し軽自動車では、乾燥路面、凍結路面ともにわだち掘れによる特に大きな影響は認められなかった。

北海道の国道の路面性状データを基に、舗装維持修繕を全く行わない場合の路面性状の推移と最適な維持修繕延長をマルコフ遷移確率モデルで試算した結果を図 7 に示す。維持修繕を全く行わない場合には、現在の構造物保全率[舗装]が 90%であるのが約 10 年後の平成 28 年度に 60%を下回り、約 20 年後には約 25%まで低下すると推測される。構造物保全率[舗装]を国交省の達成度目標である 90%以上に保つためには、全延長に対して年間の維持修繕延長は約 8% (全延長約 6400km に対して 500km) 程度とすることが望ましいと試算された。

4. まとめ

4.1 舗装劣化度予測手法の開発

ネットワークレベルの路面性状予測において、マルコフ遷移確率モデルの優位性を確認した。最新のデータに基づき、従来の予測式よりも精度の高い予測式を作成した。

4.2 舗装マネジメントシステムの検討・改良

平成17年度に試作した、現場利用を想定した舗装マネジメントシステムのプロトタイプを、予防的修繕を行った場合の補修計画立案や将来推移予測ができるように改良し、現場への試験適用をすすめた。構造物保全率[舗装]を目標水準に維持するために必要な修繕戦略について試算をした。

4.3 最適な舗装維持修繕シナリオの検討

路面凍結状態のわだち路面では、小型車において車線変更時に車両挙動への影響が大きく現れ、不安定挙動となりやすいことが確認された。マルコフ遷移確率モデルを用い、構造物保全率[舗装]の目標値を達成するために必要な年間維持修繕延長を求めた。

表1 作成した予測式的的中率

	現行予測式		単回帰式		重回帰①		重回帰②		重回帰③	
	的中データ数	的中率(%)	的中データ数	的中率(%)	的中データ数	的中率(%)	的中データ数	的中率(%)	的中データ数	的中率(%)
ひびわれ	13,121	45.0	9,135	31.3	9,285	31.8	9,830	33.7	9,814	33.6
わだち掘れ	23,048	78.9	27,148	92.9	27,210	93.2	27,068	92.7	27,201	93.1
平坦性	19,207	92.2	19,897	95.5	19,901	95.5	19,911	95.5	19,893	95.5
MCI	16,527	57.0	20,446	70.5	20,731	71.5	20,375	70.3	20,692	71.4

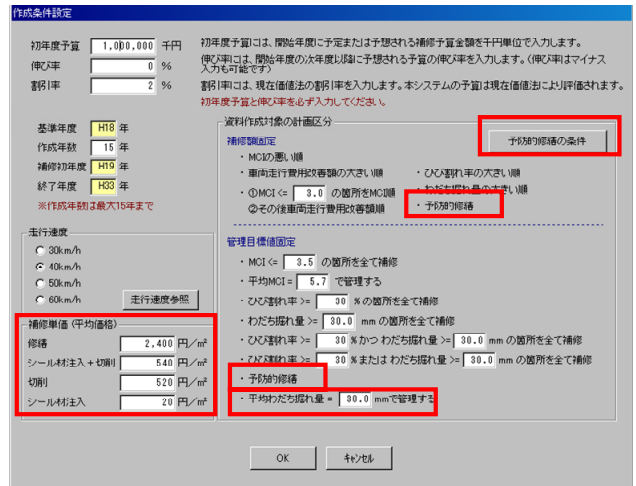


図3 条件入力変更点

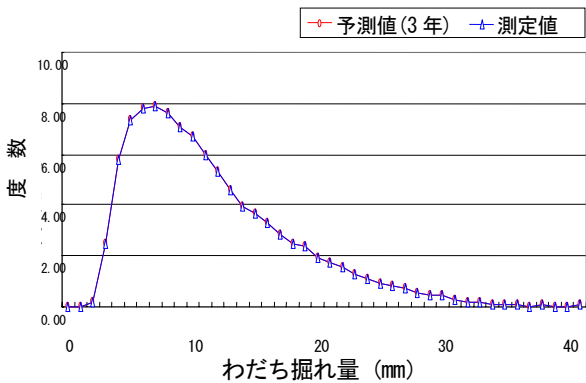


図1 マルコフ遷移確率モデルによる予測/実測比較

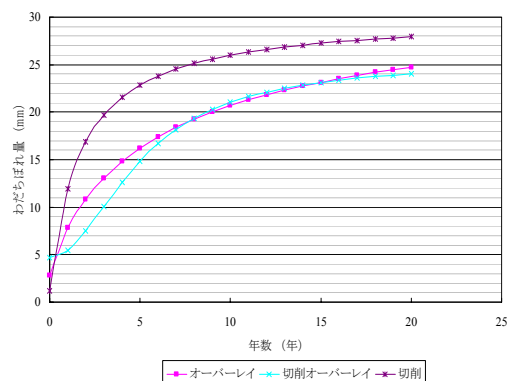


図2 補修工法別劣化予測比較

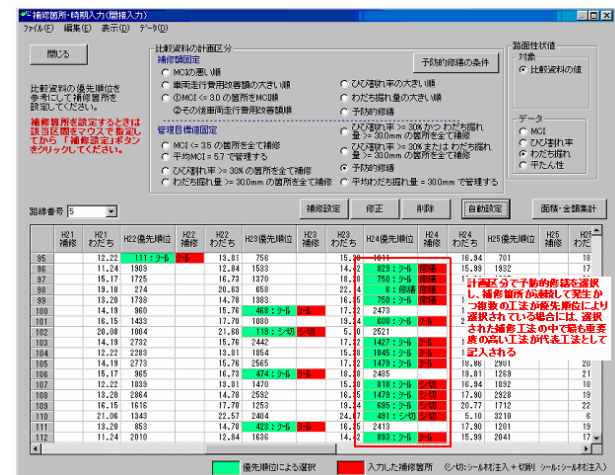


図4 予防的修繕工法における修繕予測表示画面

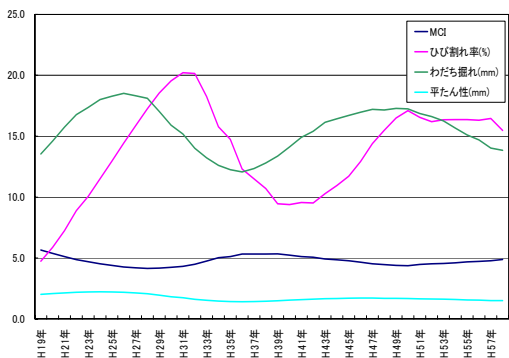


図5 改良システム解析例1
予防的修繕管理の路面性状予測

11.6 積雪寒冷地における土木施設の
マネジメント手法に関する研究

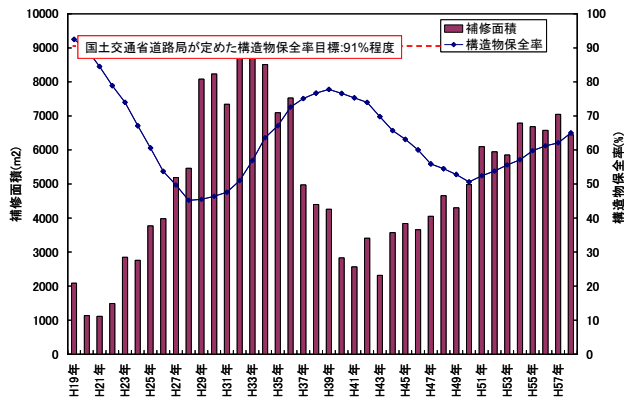


図6 改良システム解析例2
予防的修繕管理の構造物保全率と補修面積

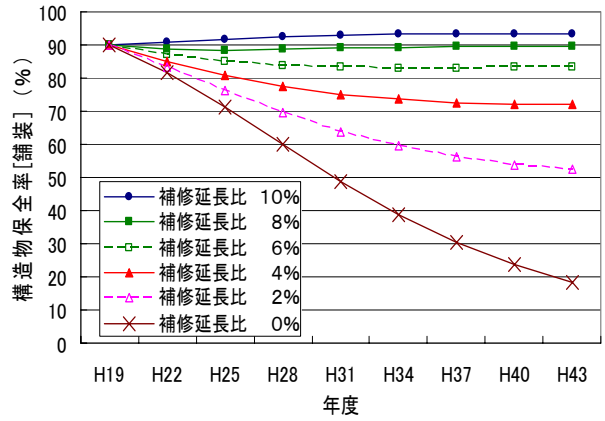


図7 構造物保全率[舗装]の推移予測

MANAGEMENT OF CIVIL ENGINEERING FACILITIES IN SNOWY, COLD REGIONS

Abstract : Deterioration prediction method and rehabilitations in the view of preventive maintenance is absolutely imperative for pavements life cycle costs reduction under cold climate conditions. One of the objectives of this study is to develop a method for prediction of pavements deterioration such as rutting, wearing and cracking, and to develop an evaluation approach of pavements healthiness. The other objective is to establish a pavement management system suitable for cold and snowy regions which could provide most relevant maintenance and rehabilitation scenario based on the life-cycle cost analysis. In the first and second fiscal year, the accuracy of the Markov decision process model for pavements deterioration prediction and a long-term maintenance strategy was analyzed using the model. The current performance curves were updated using the latest pavement surface data records and the performance curves based on rehabilitation methods have been investigated. Furthermore, the prototype pavement management sub-system has been improved to meet the concept of preventive maintenance and a hearing investigation to road administrative offices was held to find out their needs. The influences of rutting to vehicle behavior have been examined on the rutted test track.

Key words : pavement management system, deterioration prediction, life-cycle cost analysis