

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

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

寒地構造チーム

研究担当者：熊谷政行、石田 樹、丸山記美雄、金子雅之
西 弘明、今野久志、三田村浩、佐藤 京

【要旨】

積雪寒冷環境下での舗装や橋梁構造物の部材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ライフサイクルコスト(LCC)解析等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。

舗装マネジメントに関しては、電磁波レーダによる橋面舗装の損傷や水分検知技術に関して調査を行い、その性能を確認した。また、舗装の予防的修繕工法の効果に関して追跡調査を行った。

橋梁マネジメントに関しては、健全性評価について毎年実施されている橋梁定期点検結果から状態を数量化し、マルコフ遷移確率を基に提案している劣化予測手法を再評価するとともに、新たな点検データを分析対象に追加し、劣化損傷状態分析を実施した。さらに、限られた予算の中で、予防保全として最適な維持修繕・補強計画シナリオを提供するための補修優先順位付けに関する検討を実施した。

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、優先順位、橋梁維持管理システム (BMS)、
予防保全型補修、事業計画

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。本研究では、積雪寒冷地における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 健全度評価・劣化予測手法の開発

2. 1. 1 橋面舗装内部の損傷および水分検知技術の開発

橋面舗装内部に水が浸入することが原因で、混合物層がはく離してポットホールやひび割れが発生するなどの損傷形態が橋面舗装に散見される。舗装内部の水の浸入状況を非破壊で検知する技術の開発が望まれるところである。本検討では、電磁波レーダ測定による橋面舗装内部の損傷検知および水分検知技術に着目した。既存の電磁波レーダによる測定は、測定範囲が狭いことおよび解析に時間がかかること、水分の検知の可否やその精度についても明確でないことが課題であった。そこで、新たに開発された電磁波レーダ探査機を用いて、はく離損傷が発生している実際の橋面舗装において、橋面舗装の打換修繕が実施される前と後で

レーダ調査を実施し、打換修繕実施後のデータを健全箇所との測定データとみなしてデータの変化を比較し違いを検証した。比較の際の着眼点は以下のとおりである。

- a) ポットホール発生箇所付近や混合物のはく離損傷が疑われる箇所の修繕前後の変化
- b) 水分滞留が疑われる箇所の修繕前後の変化

2. 1. 2 定期点検結果による劣化損傷分析

一般国道を対象とした橋梁定期点検結果より、腐食、塗装劣化とひびわれ損傷に着目し、塩害、凍害がそれらに与える影響として劣化損傷の進展傾向や地域性などを各損傷、部材、地域別にとりまとめた。

2. 1. 3 橋梁劣化予測の精度向上

劣化予測精度向上のために各部材劣化の遷移確率と劣化曲線の再評価をこれまでに実施された橋梁定期点検の全データを対象として実施した。

2. 2 補修補強シナリオの検討

2. 2. 1 舗装の予防的修繕工法に関する検討

平成 18 年度に施工した、発生形態が異なる 2 箇所のひび割れ箇所において、シール材の注入を行い、追跡調査を行っている。発生形態が異なるひび割れとは、舗装表面から下層に向かって伸びる「トップダウンクラック」と、舗装下面から上層に向かって伸びる「ボトムアップクラック」である。シール材の残存率、路面状況の変化や路面性状について、継続調査を行った。

また、平成 20 年度より、シール材の種類による効果の差を検討することを目的として、種類の異なる数種類のシール材を、同一区間に連続的に注入し、各種シール材の性状や残存状態を比較検討することとした。現地にはトップダウンクラックが、縦断的に連続に発生している。表-1 に使用しているシール材の一覧表を示す。加熱注入型は、4 タイプ 9 種類と常温注入型 2 タイプ 3 種類、計 12 種類を使用している。また、シール材注入工区とひび割れの伸長を比較するために、シール材注入を行わない工区を設置した。シール材注入の施工前に、ひび割れ延長を測定し、シール材延長を測定した。今後、経年変化によるひび割れの増加延長やシール材の残存率を測定する予定である。

切削工法は、平成 18 年に施工した 1 箇所の試験施工箇所において、追跡調査を行っている。本箇所は、切削工法のみを行っている工区と、比較のために切削オーバーレイを行っている工区を設定している。交通量区分は N7 であり、舗装厚が厚い路線である。施工直前より、わだち掘れ量や FWD によるたわみ量を測定し

表-1 シール材一覧表

シール材種類		種類
加熱注入型	高弾性タイプ	3
	低弾性タイプ	3
	ファイバー入りアスファルト	1
	その他	2
常温注入型	樹脂系	2
	瀝青系	1
合計		12

追跡調査を行った。

2. 2. 2 補修橋梁の優先順位付けに関する検討

前年度において実施したアンケート予備調査結果を受けて、アンケート内容の最適化を行い、Web を用いて本調査を実施した。その結果より、被験者を管理者および一般ユーザーにおいて、カテゴリーを区分し、双方の視点を考慮した優先度を決定するための重み付け項目の設定と重み設定について検討を行った。

2. 3 マネジメントシステムの改良

2. 3. 1 橋梁マネジメントシステムの改良

これまでの研究成果を基に橋梁維持管理システム (CBMS ; Civil Engineering Research Institute Bridge Management System)¹⁾には、事業計画作成のための橋梁健全度評価、劣化予測、補修事業計画予算等をまとめてレポート形式に出力する機能を構築するとともに、実験結果より整理した RC 床版の劣化予測手法について、点検結果からの統計的劣化予測結果と比較評価を行うための機能を追加している。本年度は、事業計画策定のための実運用に向け、橋梁個別の補修計画出力から全体補修計画を算出するため、補修優先度を考慮した最適補修計画を算出する機能の追加のための、プロセス検討を行った。また、プロトタイプシステムは、旧点検要領に準拠したシステムであることから、新点検要領に合致したシステムとなるよう改良箇所について検討し、仕様書を作成した。

3. 調査研究の成果

3. 1. 健全度評価・劣化予測手法の開発

3. 1. 1 橋面舗装内部の損傷および水分検知技術の開発

ポットホール発生箇所付近の修繕前後の変化について、図-1 に示す。修繕前ではポットホール (パッチング) を示す異常信号の分布を確認した。修繕後では異常信号の分布が消失していることを確認した。また、基層混合物のはく離損傷が疑われる箇所の修繕前後の変化について図-2 に示す。修繕前では混合物のはく離

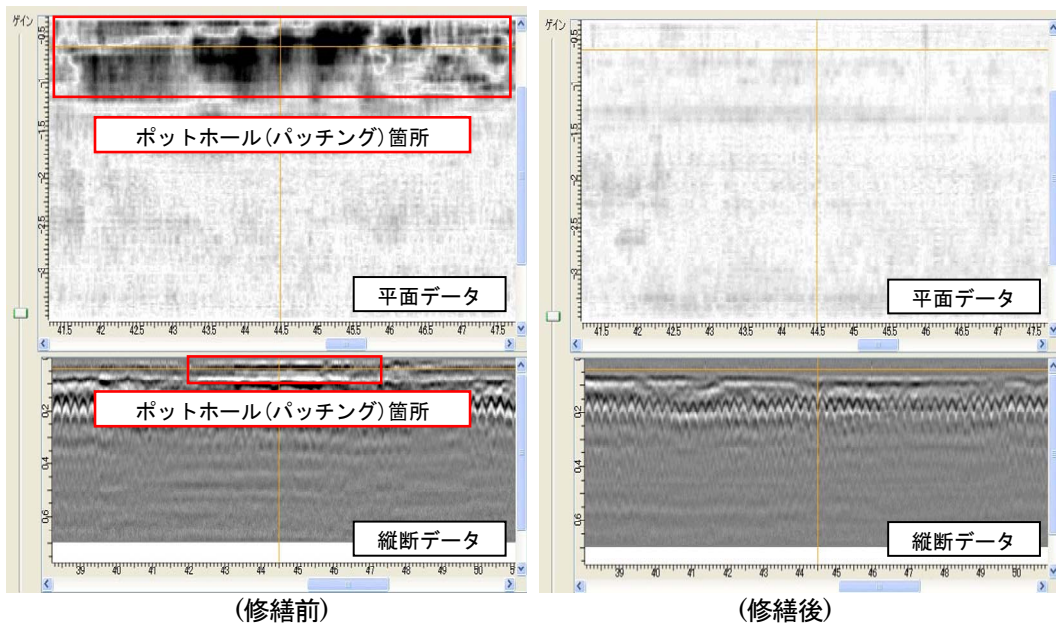


図-1 ポットホール発生箇所付近の測定結果

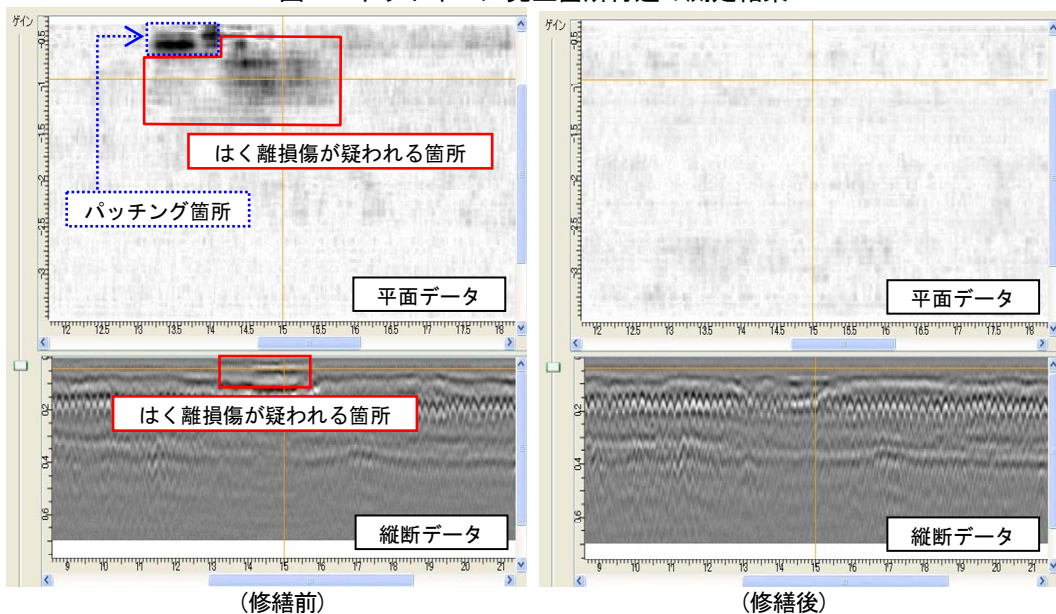


図-2 はく離が疑われる箇所の測定結果

損傷が疑われる箇所で異常信号の分布があったが、修繕後では異常信号の分布が消失していることが確認された。

次に、舗装混合物または床版コンクリートの損傷が見られない健全な箇所では、図-1 や図-2 で見られるような顕著な異常信号は見られないが、図-3 に示すように、修繕前後のレーダデータには違いが見られた。修繕前のデータは修繕後のデータに比べ、混合物層とコンクリート床版の境界部付近が白っぽく表示され、それより深い位置の反射信号が不明瞭となっている。このような違いは、混合物層内部や混合物層とコンクリート床版の境界部に滞留している水分の存在に起因す

るものと推測され、レーダ測定によってある程度の水分滞留を示す信号も得ることができると考えられた。

以上のように、混合物層内部のはく離損傷や、内部に滞留する水分の検知もある程度可能であることが確認できた。また、新たに開発された電磁波レーダ探査機は、橋面舗装を面的に測定することが可能で、測定所要時間や解析時間が大幅に短縮されていることも確認できた。

3. 1. 2 定期点検結果による劣化損傷分析

これまでに行われている橋梁定期点検では、旧点検要領で 2,723 橋、新点検要領で 3,451 橋、合計 6,174 橋分の結果が整理されている。これらのデータを基に

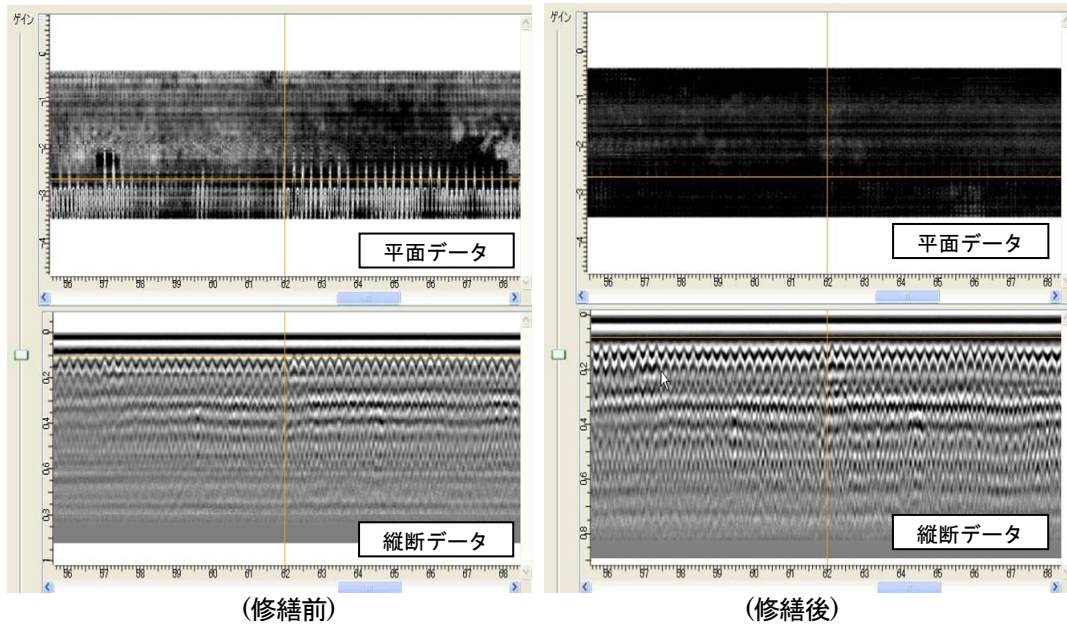


図-3 健全だが水分の存在が疑われる箇所の測定結果

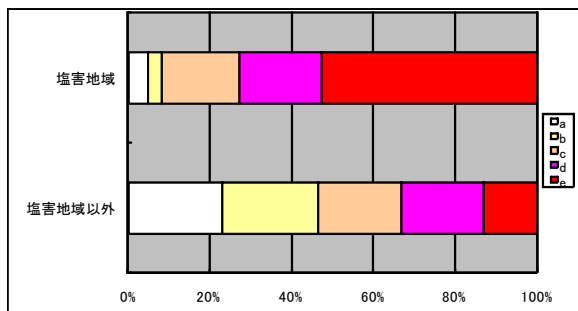


図-4 塩害地域区分別防食機能の劣化・腐食損傷ランク割合（鋼部材）

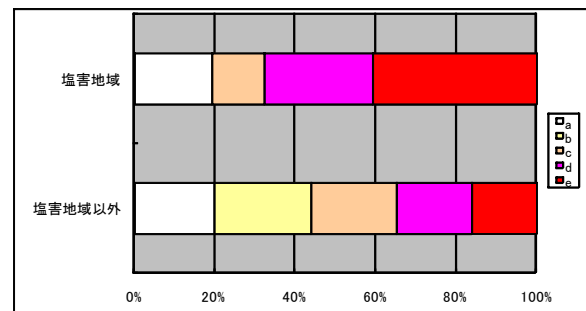


図-5 塩害地域区分別ひびわれ剥離・鉄筋露出・漏水・遊離石灰損傷ランク割合（コンクリート部材）

劣化損傷の傾向や地域性などについて各損傷、部材、地域別に特徴を整理できるよう分析を行った。

旧要領と新要領では、損傷評価に大きな違いがあるため、各要領の点検結果別に分析を実施した。ここでは、塩害と凍害の2つの劣化要因に起因する腐食、塗装劣化、ひびわれについてデータ整理を行った。それらの結果を以下に示す。

① 塩害

新要領による点検結果から、塩害の影響を受けていると考えられる鋼部材、コンクリート部材の損傷を対象に損傷ランクを整理した。対象とした損傷は、鋼部材が防食機能の劣化・腐食で、コンクリート部材は、ひびわれ剥離・鉄筋露出・漏水・遊離石灰である。整理結果は、各損傷ランクの合計橋梁数に対する区分別損傷ランクの橋梁数の割合で示している。この割合を出現率と呼ぶ。なお、ここでは、道路橋の塩害対策指針（案）に示されている地域区分Bを「塩害地域」、地域区分Cを「それ以外の地域」と区分し、新要領に示

されている損傷ランク a～e で図化した。損傷ランク a～e は損傷により表現が異なるが、概ね a から e になるに従い、損傷程度が悪くなる。詳細は要領を参照されたい。

鋼部材に対する結果を図-4に示す。図より、塩害地域において、損傷ランクが悪い橋梁の出現率が高いことが分かる。塩害地域以外の区分においては、損傷ランクが悪くなるほど、出現率が低くなっているがその傾向は大きくなく、概ねどの損傷ランクに対しても平均的な出現率であることが分かる。

コンクリート部材に対する結果を図-5に示す。塩害地域において、損傷ランクが悪い橋梁の出現率が最も高く、その出現率は、損傷ランクが悪くなるに従って、増加する傾向があり、鋼部材のケースと類似している。塩害地域以外の区分においては、どの損傷ランクにおいても同程度の出現率であることが示された。

以上のことから、塩害地域において損傷ランクの悪い橋梁が多く分布し、ランクが低下するに従って、そ



図-6 凍害危険度

表-2 凍害危険度ランクとランク d 以上の橋梁割合

凍害危険度	予想程度	損傷ランク d 以上の橋梁割合
⑤	極めて大きい	11%
④	大きい	7%
③	やや大きい	7%
②	軽微	6%
①	ごく軽微	8%

の出現率が低下することから、対象とした損傷は、塩害の危険度と相関が高いものと考えられる。また、それ以外の地域では、塩害の影響も懸念されるものの、損傷ランクが概ね同程度出現していることから、塩害の危険度との相関は高くないものと考えられる。

② 凍害

凍害は、北海道のような寒冷地におけるコンクリート部材の損傷要因の一つである。1975年に図-6、表-2に示すような凍害危険度を長谷川²⁾が整理している。ここでは、この危険度を基に点検で確認された損傷の傾向を分析する。

なお、分析対象とする損傷は、図-7に示すような凍結融解作用によるコンクリート表面の微細ひびわれやスケーリング、ひびわれ内の水の凍結膨張作用によるポップアウトといったコンクリート部材の損傷であるが、ここでは、「橋脚(橋台)における沓座面に漏水・滞水があり、ひびわれ、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰のランクが d より悪い橋梁」に限定して分析した結果より、その傾向を整理するとともに他の損傷から見られる特徴を整理する。

北海道には、凍害危険度が最も高い⑤からもっとも低い①のエリアが存在しており、地域によっては、凍害による劣化損傷は少ないことが想定される。この図-8では、各危険度のエリア内の橋梁の中で損傷ランク



図-7 凍害による橋脚のスケーリング

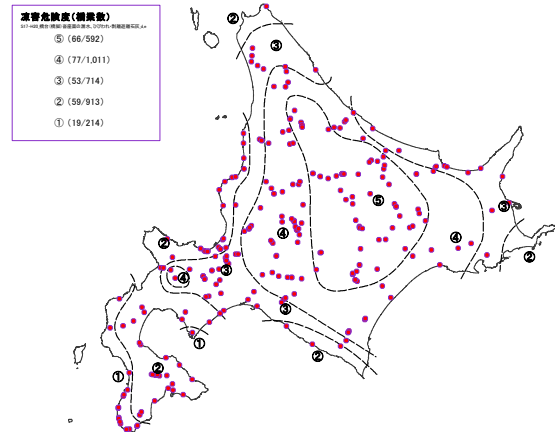


図-8 凍害危険度と分析対象橋梁の関係
(対象；損傷ランク d、e)

d よりも悪い評価の橋梁を表示している。表-2に示しているように、凍害危険度⑤から①になるに従い、割合は、11%、7%、7%、6%、8%となっている。多少ではあるが、凍害危険度⑤の地域で損傷ランクが悪い橋梁の割合が高い。

ここでは示していないが、凍害危険度が高いエリアでは、コンクリート桁の外桁における損傷ランクが悪い評価傾向となることが明らかとなった。

本分析の範囲では、北海道で顕著となる凍害について、明確な特徴を見いだすことが出来ていない。しかし、凍害による損傷劣化促進は、北海道全域に分散していると考えられることもでき、凍害危険度以上に関連づけられる要素が他にあることも想定される。

3. 1. 3 橋梁劣化予測の精度向上

CBMSに導入している構造物の劣化予測には、橋梁点検結果を基にしたマルコフの遷移確率を用いている。この遷移確率は、昭和63年度に建設省土木研究所から出された橋梁点検要領(案)³⁾に従って実施された平成14年度までの橋梁点検結果から整理されているものであり、これらの精度向上を図るには、同じ点検精度で得られた結果を基に分析を継続的に実施することが重要である。しかしながら、平成16年に点検手法および損傷度合いの表現等が大幅に変更され、同一の点検精度および点検結果を得ることが出来なくなった。

表-3 コンクリート床版の既存劣化遷移確率

	OK	IV	III	II	I
OK	0.986	0.014			
IV		0.967	0.033		
III			0.973	0.027	
II				0.500	0.500
I					1.000

表-4 コンクリート床版の既存劣化遷移確率年

	OK	IV	III	II	I
OK	47.723				
IV		20.904			
III			25.434		
II				1.000	
I					1.000

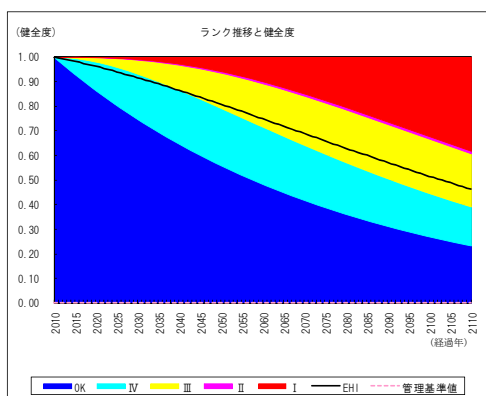


図-9 現行システムでの劣化遷移曲線

表-5 コンクリート床版の劣化遷移確率 (再評価)

	OK	IV	III	II	I
OK	0.985	0.015			
IV		0.968	0.032		
III			0.973	0.027	
II				0.500	0.500
I					1.000

表-6 コンクリート床版の劣化遷移確率年 (再評価)

	OK	IV	III	II	I
OK	47.064				
IV		21.147			
III			25.715		
II				1.000	
I					1.000

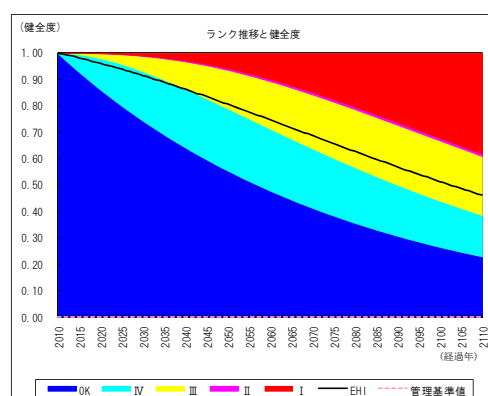


図-10 再評価した劣化遷移曲線

そこで、平成 16 年度以降に実施された新点検要領に基づく点検結果を用いて、劣化曲線と遷移確率を算出し、現在提案している劣化予測手法の評価を行った。

① 現行手法

提案している劣化予測手法は、劣化遷移確率よりとりまとめている。遷移確率とは、ある事象から、その状態を保持、または、異なる事象へと変化するときの確率である。点検データより求めた遷移確率は、複合劣化を表現するのに妥当な手法と考えている。

表-3 に示しているのは、コンクリート床版における劣化遷移確率である。劣化遷移確率の対角項はそれぞれ、次の年に同一ランクにとどまる確率を表しており、ランクが下がる確率は、その右隣に記載した値で示している。例えば、OK が次の年に OK である確率は 0.986 であり、OK がランク IV になる損傷に遷移する確率は 0.014 となることを表している。表-4 は、同一ランクのままである確率年を示している。図-9 は、表の遷移確率を基に 2010 年を初年度として、コンクリート床版の劣化を予測したものである。

② 新要領データを加味した手法

新点検要領のデータを加えて同様の遷移確率を算定した結果を表-5 に示す。表より、上記①の現行の遷移確率とほぼ同程度であることが分かる。これらの結

果を用いた、劣化遷移確率曲線を図-10 に示す。

③ 新要領のみでの方法

新点検要領に従った点検結果は、複数回の記録が少なく、これまでの点検結果に追加して、分析するにはその影響度は小さいと考えられる。そこで、新たなデータのみで算出した遷移確率を算定し、旧点検要領での結果と比較し、その連続性を確認した。

表-7 から OK である健全状態からランクが下がる確率は、これまでの遷移確率よりも大きくなっていることが分かる。また、図-11 より、推定年初期からは急激に劣化が進行するが、その後、同一ランクにとどまる確率が高いことから、劣化推移は緩やかな評価となっていることが分かる。従前の劣化遷移確率と比較して、健全度が高い場合には劣化進行が急速で、健全度が低くなると劣化進行は緩やかになっている傾向となる。

次に、北海道全体での橋梁劣化状態を確認するために、損傷ランクと経過年の関係を点検部材毎に整理し、部材別平均劣化曲線を導き、その劣化推定を行った。ここでは、コンクリート床版における平均劣化曲線を示す。

図-12 には、旧点検要領の点検で得られている劣化曲線を示し、表-8 には、各損傷ランクに評価されるま

表-7 コンクリート床版の劣化遷移確率
(対象データ；新要領)

	OK	IV	III	II	I
OK	0.943	0.057			
IV		0.981	0.019		
III			0.992	0.008	
II				0.500	0.500
I					1.000

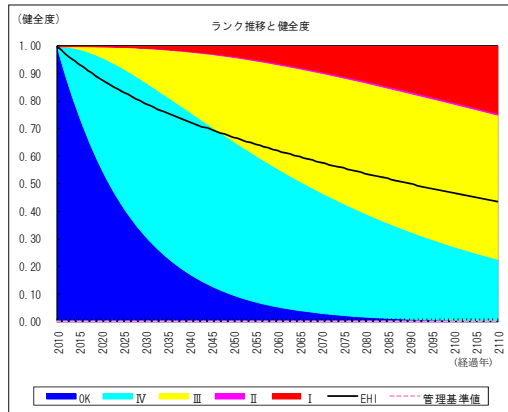


図-11 新たなデータのみを用いた劣化遷移確率

での経過年を示している。この結果から、健全な状態から一ランク下がるまでに16年、その後、ほぼ7年経過毎に一ランク低下し、約30年経過しなければ、健全な状態からランク2へと劣化進行しないことがわかる。

図-13および表-9は、新点検要領での点検で得られている損傷ランクと経過年とその劣化曲線である。この結果と旧点検要領での結果を比較すると、新点検要領での劣化傾向は、旧点検要領で示している健全状態から一ランク低下する間に、ランク2まで急激に劣化が進む傾向にあることが示された。ただし、健全な状態から一ランク下がるまでの経過年については、新点検要領での結果から精度良く推定することが難しいため、誤差が含まれている可能性が考えられる。損傷ランク4からそれ以下の状態へ劣化する傾向を経過年で比較すると大きな差は見られない。

3.2 補修補強シナリオの検討

3.2.1 予防的修繕工法の適用性に関する検討

(1) 発生形態の異なるひび割れシール材注入工法の評価

発生形態の異なるひび割れ箇所のシール材残存率を図-14に示す。施工後約3年経過後のトップダウンクラック箇所では78%であったのに対し、ボトムアップクラック箇所での残存率は約13%となった。発生形態の異なるひび割れに対しシール材の注入を行った場合に、残存率の減少傾向に差が見られることが分かった。写真-1、-2に調査箇所の現地路面状況写真を示す。

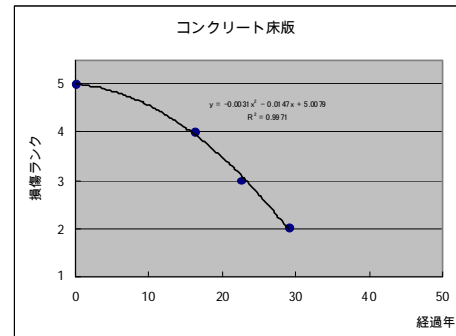


図-12 コンクリート床版の劣化曲線(旧点検要領)

表-8 損傷ランクの傾きと経過年 (旧点検要領)

損傷ランク	傾きの平均	経過年
5	0.000	0
4	0.061	16.382
3	0.161	22.575
2	0.155	29.032

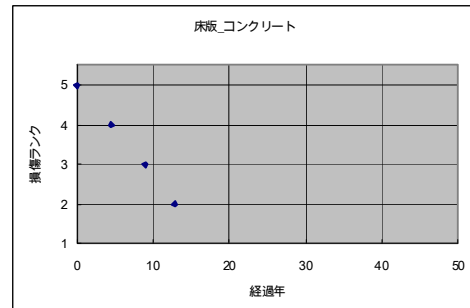


図-13 コンクリート床版の劣化曲線(新点検要領)

表-9 損傷ランクの傾きと経過年 (新点検要領)

損傷ランク	傾きの平均	経過年
5	0.000	0
4	0.225	4.454
3	0.223	8.935
2	0.257	12.827

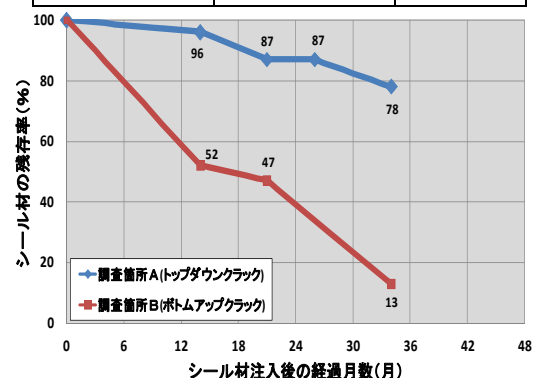


図-14 発生形態の異なる箇所のシール材残存率

調査開始後2ヶ月後および、34ヶ月後の写真である。トップダウンクラック箇所の34ヶ月後の現地は、ひび割れの伸長は認められたが、シール材が注入され残存している部分は、ひび割れの角欠けや幅の拡大が抑制されており、路面補修を行うまで破損は進んでいなかった。一方、ボトムアップクラック箇所の34ヶ月後は、



写真-1 現地経過写真（トップダウンクラック箇所）

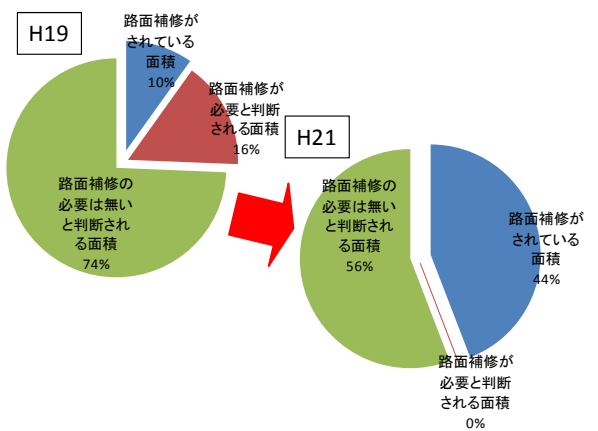


図-15 路面補修・破損状況割合（ボトムアップクラック）

路面に破損が進み、パッチングの路面補修が行われていた。図-15 にボトムアップクラック箇所における路面補修および破損状態を面積率に表した円グラフを示す。路面補修が行われている面積は、平成19年の測定時には、10%だったのに対し、平成21年の測定時には44%まで増加した。ボトムアップクラック箇所でのシール材注入は、早期に剥離や飛散を生じ、ひび割れ幅の拡大や角欠けを抑制することができないだけでなく、ポットホールなどの路面の破損が進行し、路面補修が行われたためであると考えられる。

図-16 にひび割れ率とわだち掘れ量の測定結果を示す。ここで、シール材を注入されているひび割れも、ひび割れ率に含めて計測している。21ヶ月経過後のひび割れ率測定結果は、トップダウンクラック箇所が41%、ボトムアップクラック箇所が54%であった。また、34ヶ月経過後の測定結果は、トップダウンクラック箇所が43%、ボトムアップクラック箇所が58%であった。シール材が注入されたひび割れを含めたひび割れ率は、両工区共に経年変化による増加傾向を示しており、こ



写真-2 現地経過写真（ボトムアップクラック箇所）

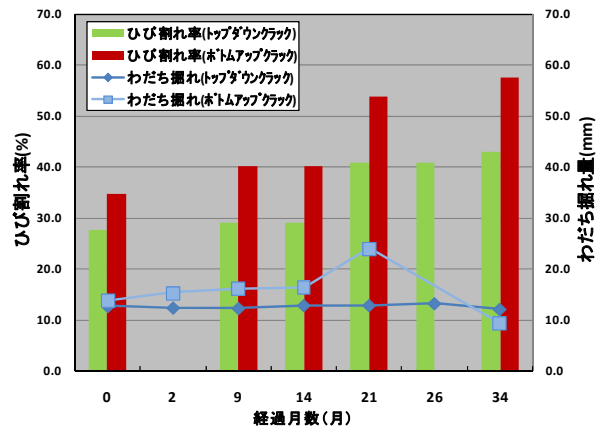


図-16 ひび割れ率、わだち掘れ量測定結果（トップダウンクラック・ボトムアップクラック）

の増加分は、ひび割れの伸長や新たなひび割れの発生分である。ひび割れ率の増加傾向から、シール材注入によってひび割れの伸長を抑制することはできないと言える。また、34ヶ月経過したひび割れ率の値は、予防的修繕工法における、密粒度舗装の工法選定の目安に着目し比較すると、切削オーバーレイ等の修繕対象区間は、ひび割れ率40%以上であることから、修繕工法適用区間と判断される値となっている。

(2) 種類の異なるシール材を使用した注入工法の評価

次に、種類の異なるシール材を注入した箇所のシール材残存率を図-17に示す。平成21年10月の調査において、加熱注入型のシール材の低弾性タイプ、フィラー入りアスファルトは、88%~92%の残存率となった。高弾性タイプ、その他は、60%~66%となった。また、常温注入型は、樹脂系が87%、瀝青系が66%の残存率となった。この結果より、各種類のシール材を比較すると、低弾性タイプ、フィラー入りアスファルトおよび常温型樹脂系は、高弾性、その他のタイプより残存率

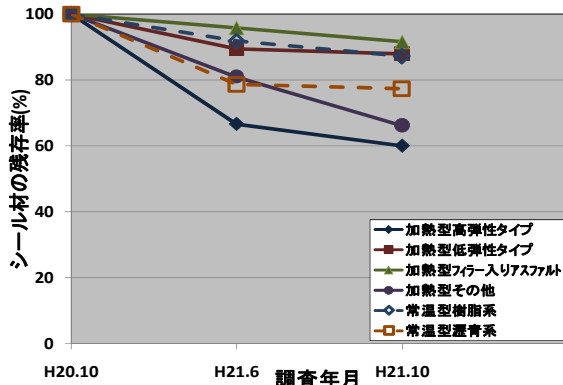


図-17 各種シール材の残存率調査結果

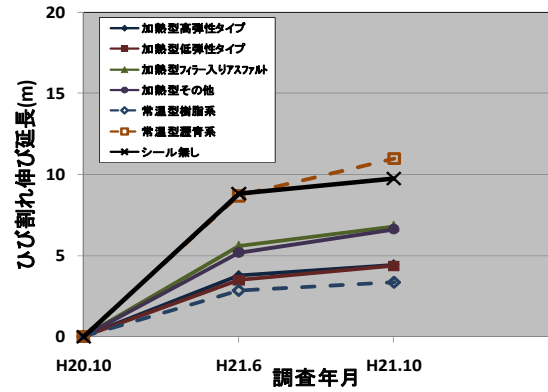


図-18 ひび割れ伸び延長量調査結果

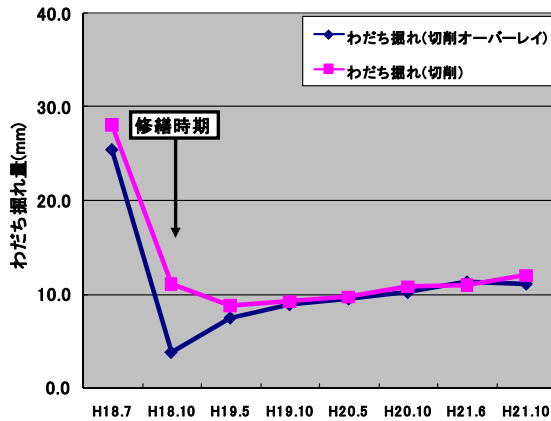


図-19 わだち掘れ量調査結果

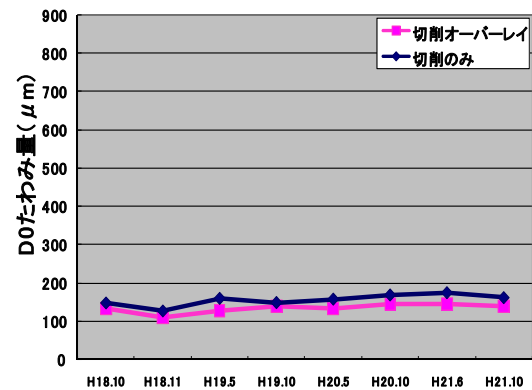


図-20 FWDによるD0たわみ量調査結果

がやや優れる値となった。今後、継続的に経過観測を行い評価する必要がある。

図-18 にひび割れ伸び延長の増加量の調査結果を示す。H21年6月の調査結果は、シール無しおよび、常温型瀝青系工区が、約9mの伸び延長であった。また、常温型瀝青系以外のシール材注入工区は、3~4mであった。平成21年10月の調査結果は、シール無しおよび常温型瀝青系工区が、10~11mの伸び延長であり、前回調査値から約2m伸長していた。また、常温型瀝青系以外のシール材注入工区は4~6mであり、前回調査値から約2mの伸長があった。これらの結果から、ひび割れ延長の増加は、平成21年6月から平成21年度10月までより、平成20年10月から平成21年度6月までの伸び延長のほうが大きい。また、平成21年6月から平成21年10月までの増加量は、どの工区も同程度である。これらより、夏期間より冬期間にひび割れが伸びていると言える。また、シール材注入を行った場合は、シール材注入を行わない場合よりも、ひび割れ伸び量を抑制できる傾向にある結果を得た。

(3) 切削工法の評価

図-19 にわだち掘れ量の調査結果を示す。両工区共にわだち掘れ量の経年変化に差は無い結果を得た。図

-20にFWDによるD0たわみ量を示す。切削区間、および切削オーバーレイ区間とも同等のたわみ量であり、両区間とも舗装の支持力として、たわみ量が200 μ m以下なので問題のない値を示していると評価できる。切削工法は、交通区分N7のようにアスファルト混合物層が35cmと厚い場合、切削に伴いアスファルト混合物層が部分的に薄くなっても、舗装体に与える影響は小さいと判断される結果を得た。

3. 2. 2 補修橋梁の優先順位付けに関する検討

昨年度実施した補修優先順位を決定するための予備調査結果を基に評価項目の見直しを行い、道路管理者視点とユーザー視点での優先度設定のための項目およびその重要度について、Web上でのアンケート調査結果から階層化分析法(AHP)を用いて検討を実施した。AHPは、複雑な意志決定プロセスを階層構造にブレークダウンして単純な言語の対一比較を基本として、この判断を統合して全体としての優先順位や配分率を決定することが可能であることから、今回の調査についても最適と判断しこの手法を採用した。

ここでは、補修の優先度の設定を最終目的として、さらにその評価に必要な項目を、橋梁の管理者、使用者双方から分析し、より効果的な優先順位付けが行わ

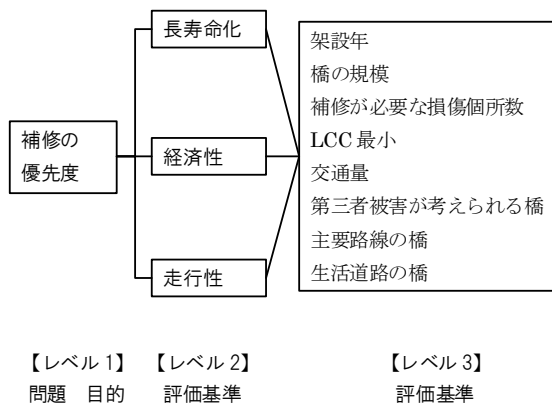


図-21 評価項目の再設定結果

表 11 レベル2の重みづけ結果

	中心市街地		郊外地		山間部	
	長寿命化	0.36	長寿命化	0.40	長寿命化	0.44
一般	経済性	0.21	経済性	0.25	経済性	0.28
	走行性	0.43	走行性	0.34	走行性	0.28
	CI	0.05	CI	0.06	CI	0.07
技術者	長寿命化	0.50	長寿命化	0.51	長寿命化	0.52
	B/C確保	0.16	B/C確保	0.17	B/C確保	0.18
	走行性確保	0.35	走行性確保	0.32	走行性確保	0.30
	CI	0.06	CI	0.05	CI	0.06

れることを主たる目的とした。まず今回見直した評価項目を図-21に示す。

調査対象の被験者の立場としては、表-10に示したように一般利用者が18%、技術者が82%となっている。なお、今回の分析において、回答者が多いことにより一部ばらつきの大きい値があることを考えて、AHPにおける整合度を表すCI値について、各設問にて0.3以上の値を持つ回答は、各回答の分析から除外することとした。

表-11にレベル2の重み付けを示す。表より、一般の回答者は、橋梁架橋地点に対して、中心市街地では走行性、その他の地域では経済性と長寿命化を重視、郊外地は中心地と山間部の折衷的な評価となっている。一方、技術者は、長寿命化を重視し、地域間での差はあまり見られない。

表-12にレベル3の重みづけ結果を示す。これによると、一般の回答者では、長寿命化では補修箇所の大きさなど、経済性では、橋の規模、走行性では、交通量、生活道路を重視する。一方、技術者は、補修箇所、損傷箇所が多いという2点を重視し、重視する指標(長寿命化、経済性、走行性)を変えても、その傾向にほとんど差がない結果となっており、レベル2の傾向とあわせて、補修すべき橋梁の管理を最重要視する結果が強く出ていると考えられる。

表-10 回答者数

	全回答者数	有効回答	無効回答
一般	90 (18%)	58 (16%)	32
技術者	397 (82%)	297 (84%)	100

表-12 レベル3の重みづけ結果

	長寿命化を重視		経済性を重視		走行性を重視	
	架設年	0.08	架設年	0.13	架設年	0.09
一般	橋の規模	0.10	橋の規模	0.12	橋の規模	0.11
	損傷箇所多	0.23	損傷箇所多	0.18	損傷箇所多	0.18
	補修箇所	0.31	補修箇所	0.27	補修箇所	0.28
	交通量	0.17	交通量	0.17	交通量	0.20
	生活道路	0.11	生活道路	0.12	生活道路	0.14
	CI値	0.15	CI値	0.11	CI値	0.12
技術者	架設年	0.05	架設年	0.06	架設年	0.06
	橋の規模	0.05	橋の規模	0.07	橋の規模	0.06
	損傷箇所多	0.18	損傷箇所多	0.16	損傷箇所多	0.17
	補修箇所	0.23	補修箇所	0.19	補修箇所	0.21
	LCC最小	0.07	LCC最小	0.09	LCC最小	0.07
	交通量	0.10	交通量	0.11	交通量	0.12
	交差	0.13	交差	0.13	交差	0.12
	代表路線	0.09	代表路線	0.10	代表路線	0.10
	生活道路	0.09	生活道路	0.09	生活道路	0.10
	CI値	0.16	CI値	0.13	CI値	0.13

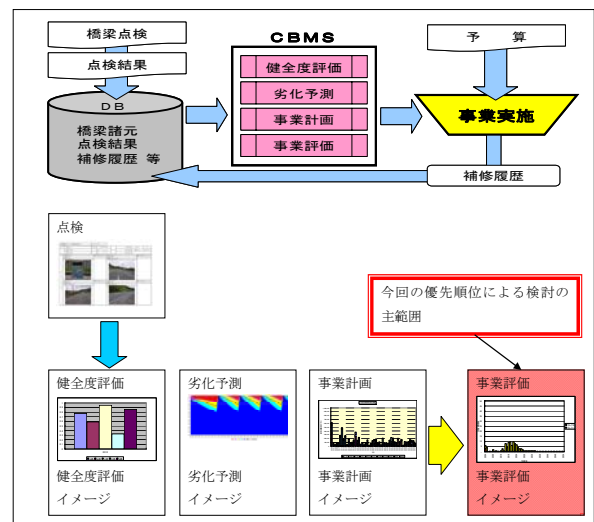


図-22 CBMS機能概要

3.3 マネジメントシステムの改良

3.3.1 橋梁マネジメントシステムの改良

本システムの目的は、維持補修計画を最適化し提案することにある。本システムは、橋梁の健全性と今後の健全度の推移を定量的に評価する機能「健全度評価」、「劣化予測」を有し、その結果を元に最適な補修時期、補修工法を選択し、補修費用の算出を行う「補修事業計画」の機能で構成されている。平成20年度までにほぼ完成したプロトタイプの機能と本年度の検討で追加される機能が分かるように図-22に機能概要を示す。また、橋梁個別の分析結果を出力したレポートの出力例を図-23に示す。

レポート上段部は、橋梁架設年や最新点検年とその時点における健全度を示している。中段には、各部材における点検時資産と健全度を示し、点検時での健全度の状況を直感的に理解できるようにグラフ化も実施した。下段には、事業計画シミュレーションによる補修計画とその実施による健全度推移を同一グラフに示し、補修部材や補修工法を一覧表に示すなど、予算要求や事業執行に係わる業務の効率化を図ることが出来ると考えられる。

今年度の検討の内、優先順位を考慮した維持補修計画機能について、システム仕様設計まで検討し、システムへの導入準備を整えた。

4. まとめ

4. 1 健全度評価・劣化度予測手法の開発

4. 1. 1 橋面舗装内部の損傷および水分検知技術の開発

橋面舗装において修繕前後の電磁波レーダ測定結果を比較した結果、橋面舗装のはく離損傷や舗装内部に滞留する水分の状況を電磁波レーダ測定によってある程度把握することが可能と考えられた。ただし、その精度や損傷程度の判断の正確性といった点については今後も引き続き検討が必要である。

4. 1. 2 定期点検結果による劣化損傷分析

延べ6, 174 橋分となった橋梁定期点検結果より、部材や地域別で塩害や凍害に関わる損傷の再分析を行った。

その結果、地域別の特徴として、塩害に基因すると考えられる損傷区分においては、塩害地域で損傷ランクの高い橋梁が確認され、その相関性が高いことが確認できた。また、凍害に基因すると考えられる損傷区分については、橋梁点検から得られる情報のみでは、特徴を見いだすことが出来なかった。今後は、橋梁点検のみではデータ分類出来ない項目（例えば、コンクリート品質）を考慮して再分析を実施する。

4. 1. 3 橋梁劣化予測の精度向上

平成 16 年度以降に実施された新点検要領を用いた点検結果を用いて、現行の点検手法に適合した劣化曲線と遷移確率を得て精度向上を図るために、現行の劣化予測評価を行った。その結果、新点検要領での点検結果を追加することで、推移確率が緩やかになる傾向となり、劣化推移の精度向上が図られた。

さらに、平成 22 年度は、新点検要領による 2 回目の点検が完了することから、さらに分析をしつつ、現行のシステムで用いている劣化曲線の精度向上を目指す。

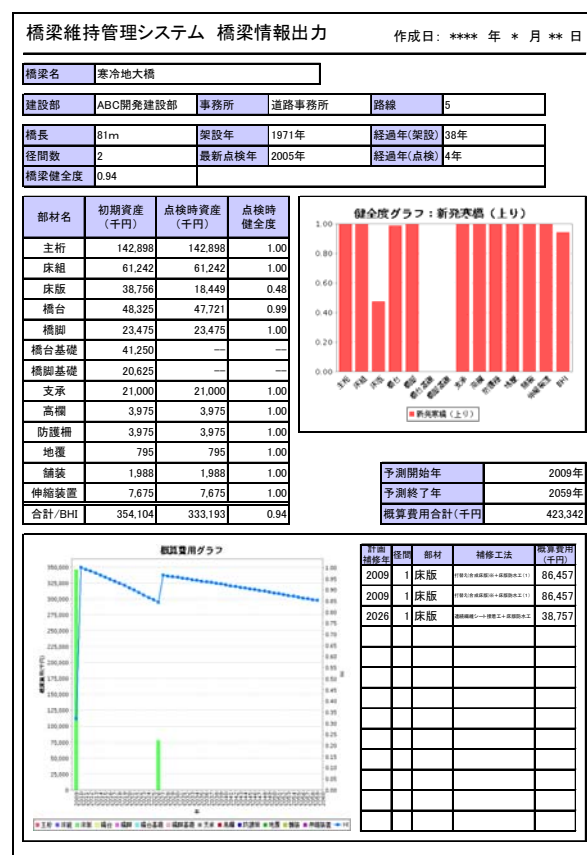


図-23 橋梁個別の事業計画レポート出力例

4. 2 補修補強シナリオの検討

4. 2. 1 舗装の予防的修繕工法に関する検討

シール材注入工法の効果に関しては、シール材残存率と路面状況から評価すれば、トップダウンクラックに対してはシール材注入による破損の進行を抑制する効果が認められ、2~3 年程度の延命効果が得られた。ボトムアップクラックに対する延命効果は得られていない。一方、ひび割れ率から評価すれば、両工区共にシール材注入によりひび割れの伸長を完全に抑制することはできておらず、予防的修繕工法の基準に照らせば切削オーバーレイ等の修繕対象となるため、延命効果は2年程度と評価することができる。しかし、シール材が健全に残存し、ひび割れ幅の拡大や角欠けを抑制している部分を、ひび割れ率に計上するか否かで評価が異なる。

種類の違うシール材を注入し調査を行った結果、加熱注入型の低弾性タイプ、フィラー入りアスファルトおよび、常温注入型の樹脂系の残存率は、90%前後の値を示したのに対し、加熱注入型の高弾性タイプおよび、その他は、60%台の値を示し、供用後の剥離に対する抵抗性に差が確認された。このことから、加熱注入型の低弾性、フィラー入りアスファルト、常温注入型の樹

脂系は、加熱注入型の高弾性、その他と比較して、供用後の剥離に対する抵抗性に若干、優位であると推察される。今後も継続して調査を行う必要がある。

切削工法については、交通量区分 N7 において切削オーバーレイ工法と比べて、わだち掘れ量とたわみ量に大きな差が無いことが確認された。交通区分 N7 のように、アスファルト混合物層が 35cm と厚い場合、切削に伴いアスファルト混合物層が部分的に薄くなっても、舗装体に与える影響は小さいと判断される結果であり、切削工法の適用は許容できるものと考えられる。

4. 2. 2 補修橋梁の優先順位付けに関する検討

本検討では、Web を利用したアンケート調査を実施し、補修橋梁の優先順位付けを行うために基礎データを約 500 名から得られた。その結果より、一般及び技術者の優先順位付けの指標に関する考え方の違いが見られた。システムへの導入にあたっては、立場の違いによる重み係数の違いについてさらなる検討を加え、その妥当性を検証する必要がある。

4. 3 マネジメントシステムの改良

4. 3. 1 橋梁マネジメントシステム改良

過年度の検討結果より構築したプロトタイプ CBMS の機能追加の仕様書を作成した。今後は、運用を目指しシステムの改良を実施するとともに使用性について評価を実施する。

参考文献

- 1) 渡邊 一悟、石川 博之、佐藤 京: BMS の構築と運用における課題、独立行政法人北海道開発土木研究所月報、技術資料、pp.35-39、2005
- 2) 長谷川寿夫: コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比限界値の提案、セメント技術年報、Vol.29、pp.248-253、1975
- 3) 橋梁点検要領(案) 建設省 土木研究所 昭和 63 年 7 月

MANAGEMENT METHODS FOR CIVIL ENGINEERING INFRASTRUCTURES IN COLD, SNOWY REGIONS

Abstract : A deterioration prediction method and rehabilitation in view of preventive maintenance are absolutely imperative in reducing the life cycle cost (LCC) of pavements and bridge structures under snowy and cold climate conditions. The objectives of this study include the development of a method to evaluate the soundness of pavements and bridge structures and to predict deterioration of them. Another objective is to establish a pavement and bridge management system suitable for cold, snowy regions that can provide the most relevant maintenance and rehabilitation scenario based on life-cycle cost analysis.

With regard to pavement management, GPR (Ground Penetrating Radar) was used for detecting deteriorations and/or moisture in pavement structures on bridge floor slabs. Also, the follow-up survey for performance of the preventive maintenance methods has been done.

For bridge management, the conditions of bridges were quantified using the results of periodic inspections conducted on an annual basis for evaluation of soundness. Methods of estimating the degree of predicting deterioration based on Markov transition probabilities were re-evaluated, and deterioration and damage conditions were analyzed by adding new inspection data to the objects of analysis. Furthermore, the priority of bridge repair was determined so that an implementation plan with the optimum maintenance, repair and reinforcement scenario can be provided on a limited budget.

Key words : pavement management system, deterioration prediction, life-cycle cost analysis, maintenance priority, CERI Bridge Management System(CBMS), preventive repair, bridge management plan