

NEXCO-PMS を活用した舗装の早期補修の有効性検証

神谷 恵三¹・鈴木 一隆²

¹ 法人準会員 中日本高速道路(株) 高度技術推進部 (〒511-0865 名古屋市中区錦 2-18-19)

E-mail: k.kamiya.ab@c-nexco.co.jp

² 中日本高速道路(株) 金沢支社 環境・技術管理部 (〒920-0365 石川県金沢市神野町東 170)

E-mail: k.suzuki.ad@c-nexco.co.jp

酷くなる前に直すという予防保全の実践に鑑みて、過去の補修工事履歴を包括する NEXCO-PMS を活用することにより、補修時期とその後の補修間隔を分析した。その結果、同じ補修パターンを実施した区間では、早期の補修日付ほど耐用日数が長くなる傾向を確認することができた。これは路面の状態に寄らず、舗装の支持力低下がより支配的であるという仮定に符合するものである。この仮定の検証は、機械学習に基づく FWD たわみ指標の推定モデルにより確認することができた。現モデルは改善の余地はあるものの、3層補修を回避するための予防手段の可能性が得られた。

キーワード：予防保全，補修履歴，排水性舗装，路面性状，耐用

1. はじめに

都市間の高速道路を担う東日本・中日本・西日本高速道路会社（以下、NEXCO）では、排水性舗装を高機能舗装として改名し、今では NEXCO の顔として広く行きわたっている（図-1）。しかしながら、基層上面に雨水を滞留させる構造であるために、表基層の取換えがその標準的な補修方法として定着してきた。最近では老朽化した重交通路線を中心に、図-2に示すような損傷の深層化が懸念されている。事実、NEXCO ではアスファルト

安定処理上層路盤までの3層補修の事例が増えつつあるので、損傷が深層化する前に直すという予防保全を実践していかなければならない¹⁾。

しかしながら、密粒度舗装とは異なり、高機能舗装の壊れ方が路面に顕在化し難いため、早期に補修を行うという行為を実践できない状態が続いている。とはいえ、現場の実務レベルでは早期補修の重要性は NEXCO 内で周知されている。約 20 年前、高機能舗装の適用拡大を図るため、表層 4cm のみの切削オーバーレイを実施した直後、基層からの損傷が全国的に観測されたからである。



図-1 雨天時の高機能舗装



図-2 舗装損傷の深層化

現在では、旧基層を残したままの補修という事例は激減したといえる。しかしながら、このような過去の知見は20年も前の教訓であるので、エンジニアの教育を効果的に実施して行かねばならない。この意味において舗装マネジメントシステムは有効なツールとなる。

本論文は、酷くなる前に直すという予防保全の実践に鑑みて早期補修の有効性検証を試みたものである。検証に際しては、NEXCOが保有するPMS（以下、「NEXCO-PMS」という）から20年以上もの補修履歴に着目した。また、点在する希少なFWDたわみ量を補完するにあたり、機械学習に基づく推定モデルの開発にも取組んだ。

2. NEXCO-PMSの概要

NEXCO-PMSは、道路の路線名、上下線区分、車線区分、IC間名、1m単位のKP位置情報ごとに、建設時点の設計データから現在に至るまでの舗装データを包括している。例えば、設計CBRや舗装構成といった初期のデータ緒言をはじめ、5年以内に実施されるひび割れ率等の路面性状データのほか、いづれでどの様な補修をしたかという修繕履歴データを1m単位で管理している。さらに、舗装パフォーマンスが大きく異なるトンネル区間や橋梁部等の道路構造区分によるデータ検索も可能である。

図-3は、NEXCO-PMSデータ帳票例である。補修延長毎に1レコードを持たせているので、KP、延長、補修日、補修方法等の履歴が独立している。このため、例えば、任意の補修区間において、表層のみの補修が次の補修に至るまでどれくらいの期間であったかという実態分析が可能である。或いは、表層と基層を含めた2層の補修事例はどれくらいの延長比率であるのかといった資産量の実態を知ることにも可能である¹⁾。

車線名	KP(自)	KP(至)	延長(km)	舗装・第1層・補修	舗装・第2層・補修
本線(第一走行)	3.885	4.010	0.125	2005/4/1	2005/4/1
本線(第一走行)	4.010	4.110	0.100	2004/4/1	1976/5/1
本線(第一走行)	4.110	4.240	0.130	2005/4/1	2005/4/1
本線(第一走行)	4.919	4.930	0.011	2017/5/22	2017/5/22
本線(第一走行)	4.930	5.000	0.070	2017/5/22	2017/5/22
本線(第一走行)	5.000	5.798	0.798	1998/4/1	1976/5/1
本線(第一走行)	5.874	5.890	0.016	2017/5/25	2017/5/25
本線(第一走行)	5.890	6.000	0.110	2017/5/25	2017/5/25
本線(第一走行)	6.000	6.085	0.085	2010/5/26	2010/5/26
本線(第一走行)	6.135	6.185	0.050	2018/11/27	2018/11/27
本線(第一走行)	6.185	6.220	0.035	2010/5/26	2010/5/26

図-3 NEXCO-PMSデータ帳票の一部(土工区間)¹⁾

3. アスファルト層の構造的評価

NEXCOでは、アスファルト舗装構造の健全度評価に際してFWDを活用している。路面性状測定と同様に、

高速道路本線で計測されたたわみデータはNEXCO-PMSに入力されるようになってきている。しかしながら、FWDの測定は一車線規制の下で実施されるので、取得データは時空間的に極小かつ離散的なものとなる。隔年で計測される路面性状と比べると、データ量の希少さは構造的評価の大きな弱点となる。本論文では、この弱点の解消方法として機械学習法によるたわみ指標の推定に挑んでいる。これについては後述する。

NEXCO-PMSには計測データの生値が収められるが、現場では以下に定義するアスファルト層の変状指標なるNEXCO独自の評価方法が用いられている。

$$\text{アスファルト層の変状指標 } D_i = (D_0 - D_{50}) / t \quad (1)$$

ここに、 $D_0 - D_{50}$: たわみセンサー位置のたわみ差(mm)
 t : アスファルト層の設計厚(mm)

この理念は、構造的な変状の大多数がアスファルト層に集中している現状に鑑みて、当該たわみ差と層厚の比を持って舗装の健全度を規定するというものである。

本論文においても、この指標を活用することとした。

3. 補修履歴のコード化

舗装補修の費用対効果を検証する際、補修回数のみならず、何時何処で何処までの層をどのように補修したかという補修の質を考慮することは、極めて重要である。

本研究は前回の成果³⁾を受けて、下表の層と表層材料の組合せコードを用いることとした。

表-1 高機能舗装の層と材料コード

	表層	基層	上層路盤	下層路盤
層番号	10	20	30	40
表層種別	1	2	3	

表-1の高機能I型とII型とNEXCO内部の呼称であり、前者は排水性舗装を後者は寒冷地仕様改良されたより耐久的なものをいう。例えば、1回目の補修を基層まで行い、表層を高機能I型とした場合のコードは22となる。その後、第3層の上層路盤までの補修を行い、表層を高機能II型にした場合、32というコードが得られる。この時の補修回数は2回となり、時系列パスは22→33となる。さらに、3回目の補修が2回目と同様に行われた場合の時系列パスは22→33→33となる。そして、これらのコードを足し合わせた数値を補修の評点とし、本論文では以下式(2)のように定義する。

$$\text{補修の評点} = \sum_{n=1}^n \text{補修コード}n \quad (2)$$

実は、この評点は補修コストの大小を概ね区分できるという利点がある。何故なら、層番号の増大は補修費用の増大に符合するからである。また、1桁目の表層種別については、密粒<高機能I型≒高機能II型という費用の順位になるが、1~3という区分はさほど大きな矛盾を生み出すものでもない。

図4は高機能舗装の補修が頻発する路線区間において補修の評点を適用させたものである。1回補修の評点は最大でも33であるので、図の最下層に位置する。一方、2回補修の評点は35~65、3回補修では48~98、4回の補修では59~101という範囲に各評点が位置することになる。例えば、4回補修の評点59は、2回補修の評点65よりもコストは下回ることが分かる。

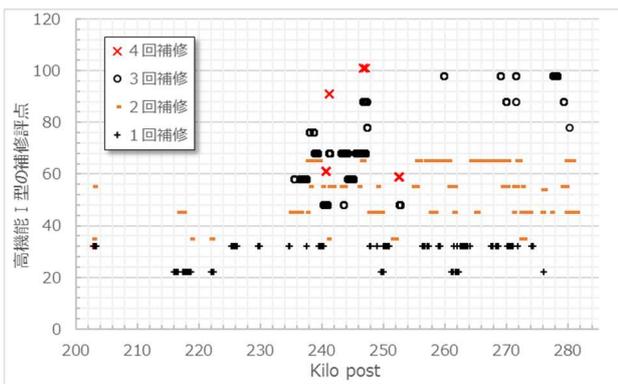


図4 高機能舗装I型の補修評点の分布

次章では、北陸自動車为例にとり補修コードと評点に基づく高機能舗装I型の耐用日数の時系列分析を試みた結果を述べる。

4. 舗装補修の耐用日数

図5は、縦軸にPMSに記録される第1回補修日付を採り、横軸に次回補修までの平均日数と補修日付を示している。例えば、最上段の2004年8月1日の場合、この日付で高機能I型による補修が実施されている。その後、2014/9/18という平均的な補修日付で基層+高機能II型が採用されている。さらにその後、2019/11/13という平均的な日付で基層+高機能II型により再補修が成されている。次回補修までの平均日数とは補修日付の間隔となるので、実質的な耐用日数を意味する。

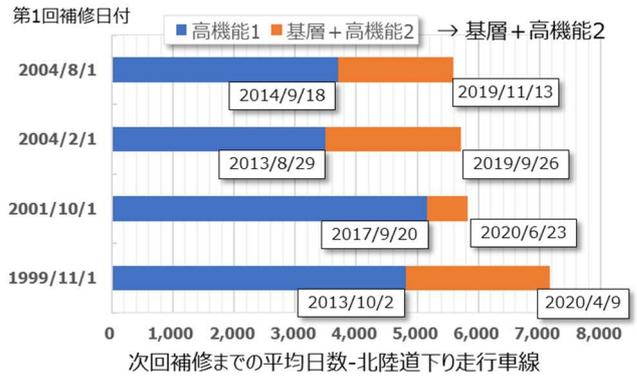


図5 補修パターン(1層→2層→2層)の耐用日数

ここで特筆すべきことは、必然性はないものの第1回の補修日付が早期であるほど耐用日数の総数が長くなるという傾向である。補修理由は路面性状の低下が一般的であるので、例えば早期補修の方がひび割れ発生の抑止効果があるということになるが、このような知見は未だ報告されていない。筆者らは、この背景には舗装の下層支持力が影響していると仮定し、先述のたわみ指標 D_i 値の経年変化に着目することとした。とはいえ、計測の都度、一車線規制を要する D_i 値の実測数は路面性状に比べると極小である。そこで、路面性状や舗装構成等のたわみ指標に影響を与える特徴量から機械学習により D_i 値を推測するモデルを開発した。 D_i のストック量はかなり限定されるので、計測と共に補修事例を多く保有する3つの高速道路区間(彦根・敦賀・富山)を対象とした。その結果、図6に示すとおり予測値と正解値の決定係数が0.616という推定モデルが得られた。モデルの詳細については寇の論文⁴⁾を参照されたい。

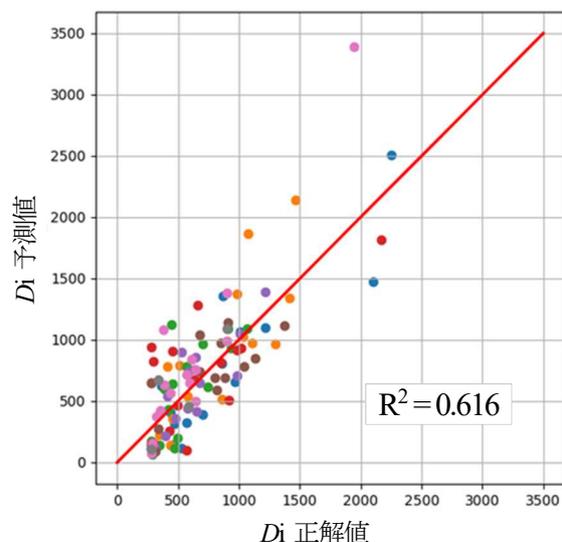


図6 機械学習による D_i 推定モデルの精度検証

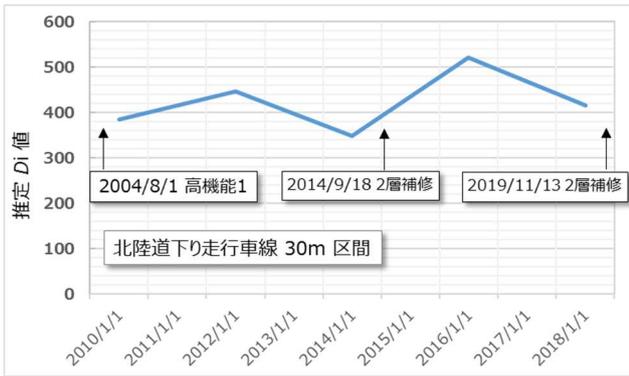


図-7 補修日付2004年8月1日以降の推定 Di 値の推移

図-7はこの推定モデルを用いて Di の経年変化を試算したものである。ここでは路面性状の実測値に連動して10m単位の推定 Di 値が隔年で得られており、最上段30m区間長の平均値がプロットされている。このような細密な評価は FWD の実測値から到底得られるものではない。図中に付した補修日付から、2014年の補修の後、推定 Di 値の微増が確認される。

一方、図-8は2017年9月20日と約3年後の2020年6月23日に2層補修が実施された現場である。推定 Di 値が2016年まで低値安定であることは、図-5の青色凡例の最長と符合する。しかし、推定値は急激に増大した後、2017年の補修を経て約400まで低下している。これより、Di 値の増大が必ずしも耐用日数の減少に符合するとは言い難い。



図-8 補修日付2001年10月1日以降の推定 Di 値

図-9は最長の耐用日数を示した1999年11月1日補修区間130mである。図-8のような推定 Di 値の急変はないものの、最短の耐用日数となった図-7の方がより低い値で推移している。

以上から、推定 Di 値は個別の現場に対して耐用日数を容易に説明できるレベルではないと言える。とはいえ、図-8のように急激な増加を示す場合には、予防的な保全措置の可能性を示している。これは推定 Di 値が有用な管理指標になり得ることを意味するものである。

さらに、今回のモデル開発は3箇所的高速道路区間を採用したが、個別箇所而言すれば特定域の予測精度が向上する可能性も否めない。これについては今後の検証課題としたい。



図-9 補修日付1999年11月1日以降の推定 Di 値

次章では、今回の推定 Di モデルを活用して早期補修の有効性を考察して参りたい。

5. 早期補修の有効性分析

図-10は2層補修した後、3層補修を2回繰り返したという問題箇所である。ここでは近接10km箇所の2005年と2006年度が対比されているが、前者の方が長い耐用日数を呈している。以下にこれの考察を述べる。

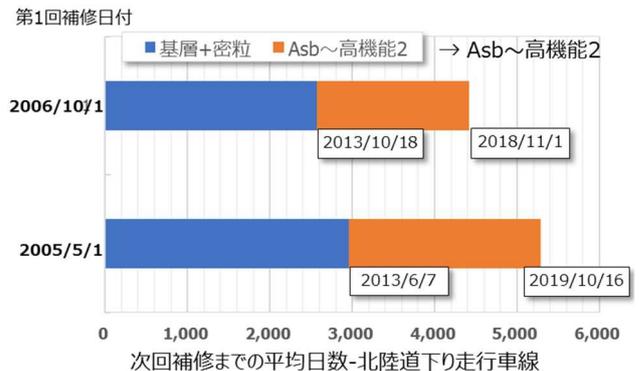


図-10 補修パターン(2層→3層→3層)の耐用日数

図-11は両者の推定 Di 値の推移をプロットしたものである。上段の2006年区間よりも下段の2005年区間の方が推定 Di 値の変動は小さいことが分かる。ピーク値は高いものの下段の方が長期にわたり低い Di 値を呈している。この背景には、2013年6月7日という推定 Di 値が未だ大きくない時期に補修を実施した事実があることから、劣化の早期段階で直すことの有効性が示唆される。

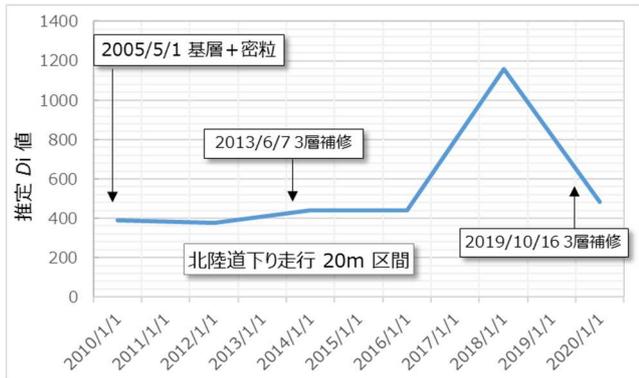


図-11 近接10km箇所の推定Di値の推移

図-12は3回にわたり全て2層補修を繰り返した現場を包括している。近接20km箇所が対比されているが、ここにおいても早期補修に伴う耐用日数の有効性が確認される。これらのDi推定値の推移を図-13に示す。



図-12 補修パターン(2層→2層→2層)の耐用日数

最下段の2005年グループの推定Di値は長期にわたり低い値で推移しており、前図の長い耐用日数に符合することがわかる。中段グループはピーク値が1000を超えるものの、その後は400程度で推移している。図-12の青色凡例が下段グループよりも短いのは、このピーク値の影響であると思われる。上段のグループの青色凡例がさらに短いのは、図-13の上段グループの前半が高値で推移していると状況と符合する。

前章の補修パターンよりも考察し易いのは、本章ではより大きな推定値を扱ったことが考えられる。つまり、舗装支持力がより低下した場合であるほど、耐用日数と推定Di値の関係は向上するとして解釈できる。

以上から、現在の推定モデルはプロジェクトレベルで臨機応変に説明できるものではないといえる。しかし、推定Di値の急激な増加傾向に着目すれば、3層補修を未然に防ぐ予防手段として或る程度の利活用はできそうである。さらに、問題箇所の正解値を多く入手することで、プロジェクトレベルでの予測精度改善の余地はあると思われる。

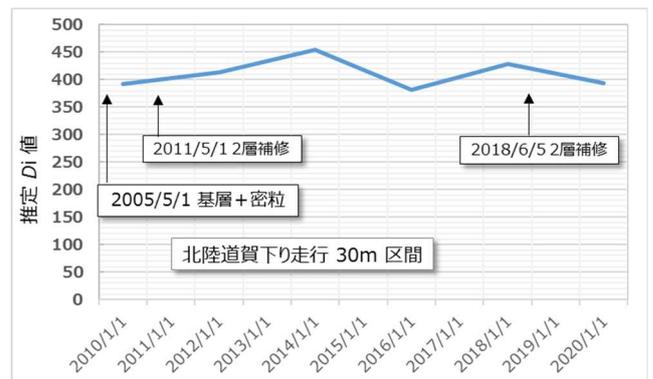
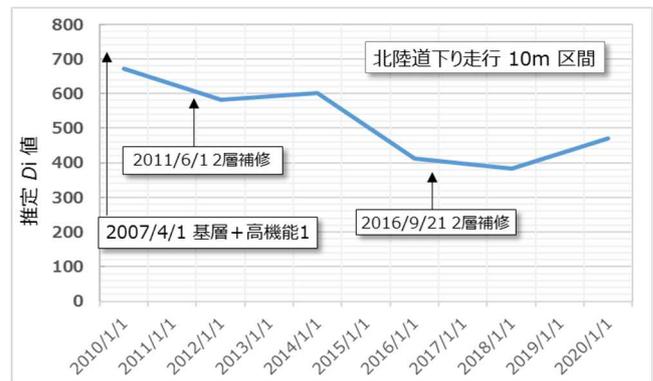


図-13 近接20km箇所の推定Di値の推移

6. まとめ

深層補修を未然に防ぐことは、道路インフラにおける

今後の大きな課題である。限られた予算の中で費用対効果を期待できる補修マネジメントを見出して行くことは道路管理者の使命である。

NEXCO-PMS に記録された補修履歴から、補修日付間の平均日数を実質的な耐用日数として算出した。また、希少なたわみ計測値 D_i を補完するために、機械学習により路面性状等の特徴量から D_i 値を推定できるモデルを開発することが出来た。得られた知見を以下に示す。

- (1) 必然性はないものの、補修日付が早期であるほど耐用日数が長くなるという傾向が得られた。筆者らは、この背景には舗装の下層支持力が影響しているとの仮説を立てた。
- (2) 機械学習により路面性状等の特徴量から下層支持力 D_i 値を推定できるモデル開発を進めた。予測値と正解値の決定係数が 0.616 という推定モデルが得られ、 D_i 値の細密な補完が可能となった。
- (3) 推定 D_i 値は個別の現場に対して耐用日数を容易に説明できないものの、急激な増加を示す場合には、予防的な保全措置を実行できる余地を残している。これは、当該推定値が有用な管理指標になり得ることを示唆する。
- (4) 今回のモデル開発は 3 箇所的高速道路区間を採用したので、個別箇所に言及すれば予測精度が向上する可能性がある。
- (5) 3 層補修を繰り返すような問題箇所では、短期間で推定 D_i の増大が確認された。ここでは D_i 値が大きな値にならないように、つまり劣化の早期段階で直すことの有効性が示唆された。

- (6) 現在の推定モデルは個別の現場で臨機応変に対応できるレベルでは無いが、現時点でも 3 層までの損傷を未然に防ぐための予防手段として或る程度の利活用はできそうである。

予防保全国土交通省の舗装点検要領⁹⁾にもあるとおり、路盤の長期耐久性確保は国内全体の大きな課題である。さらに、舗装が特定更新メニューに追記されたことから、舗装マネジメントの高度化は今後益々求められることとなる。

本研究で得られた知見はまだ限られたケーススタディであるので、今後さらなる検証に努めて参りたい。

謝辞：本調査にご協力下さいました全ての関係諸氏に対し、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 神谷, 滝, 洲崎: 舗装の予防保全に向けた NEXCO-PMS による実態分析. 第 5 回 JAAM 研究・実践発表会. 2020.11
- 2) 神谷, 秋田, 伊藤, 谷口: 路面損傷と舗装の構造的損傷の関係. 第 6 回 JAAM 研究・実践発表会. 2021.11
- 3) 神谷, 鈴木: 道路舗装のパフォーマンスと補修履歴の実態分析. 第 7 回 JAAM 研究・実践発表会. 2022.11
- 4) 寇, 貝戸, 笹井, 神谷: 機械学習によるたわみ量予測と劣化異質性推定に基づく舗装安全性の把握. 第 28 回舗装工学講演会. 2023.9
- 5) 国土交通省道路局: 舗装点検要領. 2017.3