

地域別・条件別の代表箇所に関する舗装劣化曲線の構築と検証

坂口浩昭¹・森飛翔²・菊地俊明³・入江健夫⁴・窪田光作⁵

¹正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ アセットマネジメント推進部
(〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-12-1 住友不動産西新宿ビル 6 号館) E-mail : sakaguchi-hr@oriconsul.com

²正会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ アセットマネジメント推進部
(〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-12-1 住友不動産西新宿ビル 6 号館)

³非会員 国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所 維持管理技術課
(〒270-2218 千葉県松戸市五香西 6-12-1)

⁴非会員 国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所 維持管理技術課
(〒270-2218 千葉県松戸市五香西 6-12-1)

⁵非会員 前国土交通省 関東地方整備局 関東技術事務所
(〒270-2218 千葉県松戸市五香西 6-12-1)

既往の研究では、道路舗装の劣化予測に関する研究成果が蓄積され、アセットマネジメントに活用されてきている。その多くは、劣化過程の不確実性に対応するため、確率的劣化予測を用いている。しかしながら、分析した劣化予測結果に対して、実測結果にて検証した研究は見受けられない。そこで本研究では、関東地方整備局管内の代表箇所における路面性状測定結果から劣化曲線を構築し、実測結果により検証した。具体的には、選定した代表箇所の劣化傾向を分析し、局所的に劣化した箇所を除外し劣化曲線を構築した。劣化曲線は、最小二乗法による近似式(直線・曲線)とマルコフ式にて構築した。構築した劣化曲線に対して、予測値と路面性状測定での実測値との整合性を確認し、舗装劣化曲線の構築に対する留意点を整理した。

Key Words : pavement, deterioration curve, degradation prediction, verification, asset management

1. はじめに

我が国は、人口減少により道路維持管理に関する担い手(職員)、財源の不足といった課題を抱えている。一方、戦後に建設された膨大な量の道路インフラが一斉に老朽化している。またトンネルの崩落事故を契機に道路法が改正され、道路維持管理に関する社会の関心やニーズは高まっている。社会資本(インフラ)のうち、道路の占める割合が約35%¹⁾と最も多い。人材(技術者)や財源が不足する中、道路維持管理に対する有効な手法の構築が急務である。

そんな中、平成28年10月には、舗装の修繕の効率的な実施に向け、舗装の現状について必要な情報を得ることを目的に「舗装点検要領」(以降、点検要領)が策定された。点検要領では、損傷に大きな影響を与える大型車

交通量や求められるサービス水準など道路の特性に応じた点検方法を規定している。本稿では、舗装種別の中でもアスファルト舗装に着目する。アスファルト舗装についての点検に関する基本的な考え方は、表層や基層の適時修繕による、路盤以下の層の保護等を通じた長寿命化を目的としており、中でも以下は、着目すべき特徴であると考えられる。

- ・修繕実績や大型車交通量区分等に応じ、地方整備局等において使用目標年数を適切に設定する。
- ・点検方法は、目視を基本としつつ、必要に応じて機器を用いることを妨げない。

使用目標年数の設定に関しては、平成30年9月に(公社)日本道路協会より発刊された「舗装点検要領に基づく舗装マネジメント指針」²⁾によると、以下のケースが示されている。

- ①補修履歴や点検結果を用いて設定する場合
- ②舗装の設計期間を参考とする場合
- ③修繕実績を参考とする場合
- ④他の道路管理者の例を参考とする場合

中でも、「①補修履歴や点検結果を用いて設定する場合」では、劣化予測を行い設定する事例³⁾が紹介されており、モンテカルロシミュレーションを用いた劣化予測によるひび割れ率の使用目標年数を示している。既往の研究では、道路舗装の劣化予測に関する研究成果⁴⁾が蓄積され、アセットマネジメントに活用されてきている。その多くは、劣化過程の不確実性に対応するため、確率的劣化予測を用いている。しかしながら、分析した劣化予測結果に関して、実測結果にて検証した研究は見受けられない。そこで本研究では、関東地方整備局管内の代表箇所に関して、H19年度～H29年度までの路面性状測定結果から劣化曲線を構築し、H30年度の実測値で検証した。また、劣化曲線構築のための手順、ポイントや留意点を整理し、今後の劣化曲線構築のため、また煮いては舗装の点検や維持管理に関する一助となることを目的とする。

2. 舗装劣化曲線の構築の流れ

舗装劣化曲線の構築は、①地域別・条件別の代表箇所の選定、②劣化傾向の分析、③舗装劣化曲線の構築方針の立案、④舗装劣化曲線の構築及び分析、⑤舗装劣化曲線の検証、⑥舗装劣化曲線構築のための留意点の整理の手順にて行った。構築の流れを図-1に示す。

(1) 地域別・条件別の代表箇所の選定

舗装劣化曲線を構築する箇所として、関東地方整備局が管理している直轄国道等、約2,394kmのうち、地域特性や劣化傾向が異なると考えられる条件別に分類し対象箇所を選定する。

(2) 劣化傾向の分析

選定した地域別・条件別の代表箇所について、現地状況を捉えた劣化曲線を構築するため、路線概要、路面情

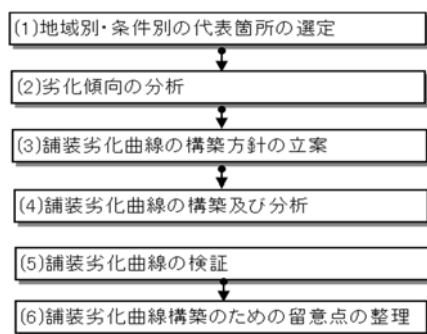


図-1 舗装劣化曲線の構築の流れ

報、急ブレーキの有無、補修履歴、路面性状計測、FWD計測の結果、周辺環境情報について取りまとめ、劣化傾向を分析する。

(3) 舗装劣化曲線の構築方針の立案

劣化傾向の分析の結果を踏まえ、舗装劣化曲線の構築方針を立案する。

(4) 舗装劣化曲線の構築及び分析

舗装劣化曲線は、H19年度～H29年度までの実測値を用いて、最小二乗法による近似式（直線・曲線）とマルコフ式（マルコフ連鎖推移モデル）にて構築する。その後、構築した劣化曲線の整合性を検証し、最も実測値と適合している劣化曲線を分析する。また局所的な劣化部を除外することによる、劣化曲線の精度に関する効果を分析するとともに、精度よく構築できている舗装劣化曲線と構築できていない舗装劣化曲線の要因を分析する。

(5) 舗装劣化曲線の検証

構築した舗装劣化曲線を用いて、H30年度の予測値と、路面性状測定した実測値の整合性を確認する。

(6) 舗装劣化曲線構築のための留意点の整理

舗装劣化曲線を構築した結果を踏まえて、舗装劣化曲線の構築に対する留意点を整理する。

3. 地域別・条件別の代表箇所の整理

代表箇所の選定にあたっては、関東地方整備局が管理している直轄国道等（約2,394km）を対象に、舗装の劣化要因に着目し、表-1に示す6項目を分類指標とする。

関東地方整備局が管理する直轄国道等について、表-1に示す6項目に分類し、その中から1km以上連続して、同じ条件に該当する区間を代表箇所として、各条件が網羅的に対象となるように配慮し、無作為に約60km（71箇所）を選定した。結果は表-2に示す通りである。

表-1 代表箇所の選定のための分類指標

条件	要因	分類
地域条件	①一般雪寒	一般地域 雪寒地域
	②沿道状況	DID・市街地 平地・山地
舗装構造条件	③設計時大型車交通量区分	N6 N7
	交通条件	④大型車交通量(台/日・方向)
1,000以上3,000未満		
3,000以上5,000未満		
5,000以上10,000未満 10,000以上		
地盤条件	⑤設計CBR	3%未満
		3%
		4%
		6%
		8%
		12%
		20% 不明
路面条件	⑥路面種別	排水性舗装 密粒度舗装

した。整理した情報を基に、図-2 に示す様式にて箇所ごとの台帳を作成し、劣化傾向を分析する。

(3) 劣化傾向の分析結果

分析手順として、まず、ひび割れ率の大きい箇所に着目した。その後、路面情報や平面図を確認、路面画像を確認し、劣化の要因と考えられる事項を分析した。分析した結果、下記事項が明らかとなった。

①地域区分（一般・雪寒）によって劣化傾向に差が確認され、雪寒地域の劣化が著しい傾向にある。

②盛土切土造成箇所は、劣化している傾向にある。

③路線内に局所的な劣化要因がある箇所は、同一路線内であっても劣化が著しい傾向にある。

なお、③に記した局所的な劣化要因は、「地下埋設物」、「交差点付近」、「大型車出入口」、「橋梁前後区間」が考えられる。これらの局所的な損傷要因が認められる箇所については、同一路線内の他箇所と比較して舗装劣化の進行速度が早い傾向にあると考えられるため、路面性状測定結果のバラツキの原因となる可能性がある。図-3 に地下埋設物の影響により発生したと考えられるひび割れが顕著な路面画像と地下埋設物の位置を記載した路面情報図を示す。その他、「交差点付近」、「大型車出入口」、「橋梁前後区間」についても同様にひび割れとの関係性が見られた。

表-3 収集した情報の一覧

No.	収集項目	用いた情報
1	平面図	国土地理院地図
2	路線概要	交通量区分
3		管理台帳
4		地域区分
5		管理台帳
6	沿道状況	管理台帳
7	設計CBR	管理台帳
8	舗装種	管理台帳、現地状況
9	勾配	MICHIデータ
10	路面情報	停止線
11		現地状況
12		横断歩道
13	側道の入口	現地状況
14	マンホール	現地状況
15	急ブレーキ	ETC2.0プローブ情報
16	補修履歴	情報管理支援システム
17	路面性状測定結果	ひび割れ率
18		路面性状調査結果
19	わだち掘れ量	路面性状調査結果
20	前方写真	路面性状調査結果
21	FWD調査結果	たわみ量D0
22	CBR	FWD計測結果
23	舗装種の種類	管理台帳、現地状況
24	除外区間の整理	現地状況
25	周辺環境情報	周辺状況
26		現地状況
27		地下埋設物情報
28		現地状況、MICHIデータ
29	交差点	現地状況、路面性状調査結果
30	盛土切土	現地状況、平面図

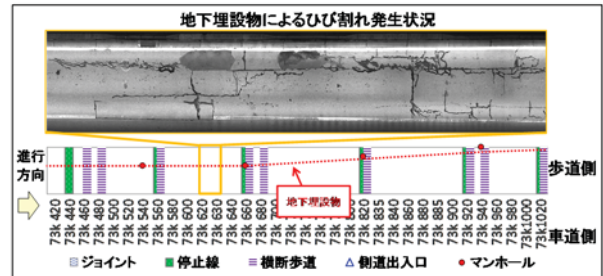


図-3 地下埋設物の影響により発生したひび割れの例

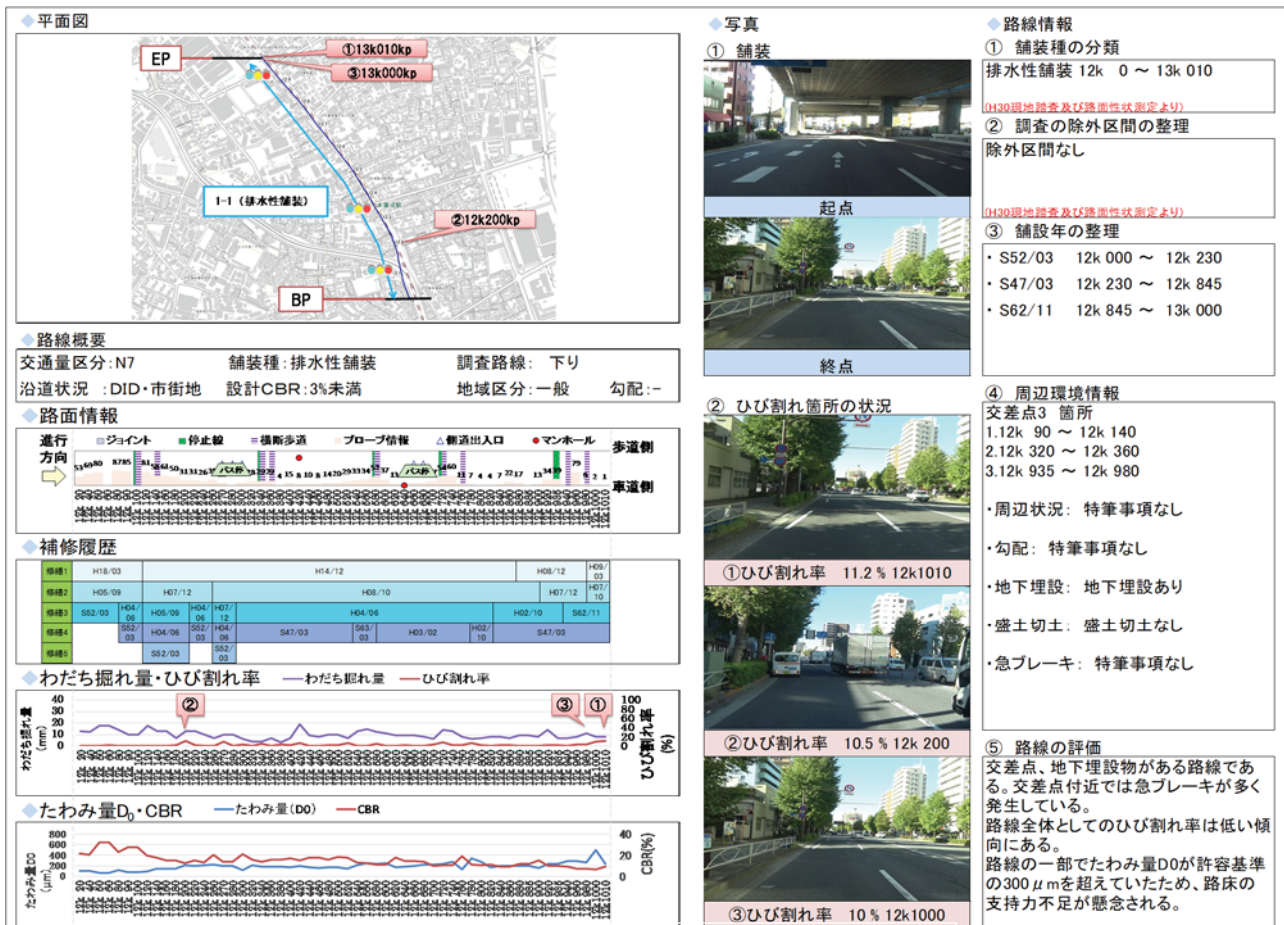


図-2 作成した代表箇所ごとの台帳例

5. 舗装劣化曲線の構築方針の立案

(1) 劣化曲線の構築の基本方針

局所的な損傷要因が認められる箇所については、同一路線内の他箇所と比較して舗装劣化の進行速度が早い傾向にあると考えられるため、路面性状測定結果のばらつきの原因となる可能性がある。そのため、路面性状測定結果のばらつきを少なくし、劣化曲線の精度向上を図ることを目的とする。

(2) 劣化曲線の構築方針

路面性状測定結果のH19年度～H29年度までの実測値を用いて、劣化曲線を構築する。また、以下の構築方針に基づき劣化曲線を構築することとする。

- ①代表の71箇所ごとに舗装劣化曲線を構築する(舗装種の分類により合計84区間となる)(以降、「全体」とする)。図-4に作成イメージ図を示す。
- ②劣化傾向の分析結果を用いて、局所的な劣化が見られる箇所(以降、局所劣化部)を除外した劣化曲線を構築する(以降、「一般部」とする)。図-5に作成イメージ図を示す。
- ③①と②を併せて同一グラフ内にて、劣化曲線で表現する。図-6に作成イメージ図を示す。
- ④劣化曲線の構築方法として、適合性が不明確なため、最小二乗法による近似式(直線・曲線)とマルコフ連鎖遷移モデルにて構築する。

劣化曲線の構築にあたり、実測値が過年度よりも改善されているようなデータや舗装種が変わっているデータは除外した。また、局所劣化箇所のみでは、データ数が限られることから、劣化曲線は構築しないこととした。

検討においては、舗装劣化曲線のタイプとして、①直線式、②曲線式、③マルコフ連鎖遷移モデルの3タイプに分類した。式ごとの特徴を表-4に示す。

マルコフ連鎖遷移モデルの代表式は、より現地の状況を捉えたものとするため、表-5の分類にて構築した。

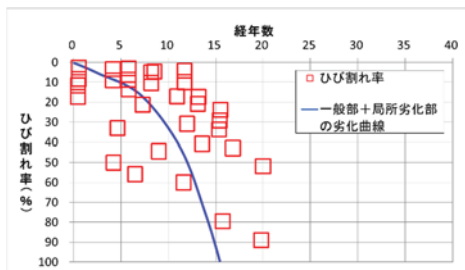


図-4 全体での劣化曲線のイメージ

表-5 マルコフ式の代表式の分類

地域区分	密粒舗装	排水性舗装
一般地域	分類①	分類③
雪寒地域	分類②	分類④

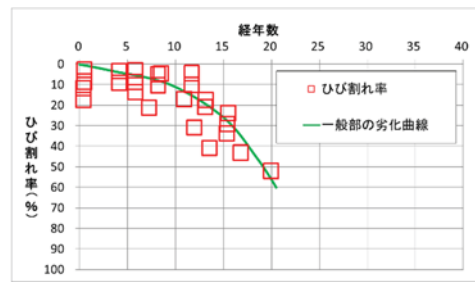


図-5 一般部での劣化曲線のイメージ

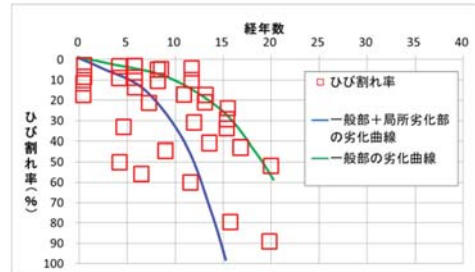


図-6 統合した劣化曲線のイメージ

表-4 劣化曲線ごとの特徴

数式タイプ	特徴
直線式	・箇所ごとに実測したデータのみで推計するため、実測データに沿った予測式となる。
曲線式	・箇所ごとに実測したデータのみで推計するため、実測データに沿った予測式となる。
マルコフ式	・代表式を作成した上で、箇所ごとに実測したデータにより推計するため、実測した最大の経年数以降も予測できる。

6. 劣化曲線の構築及び分析

(1) 劣化曲線の構築結果

最小二乗法による近似式(直線・曲線)とマルコフ連鎖遷移モデルにて構築した結果の例を図-7に示す。図-7に示す様式にて全箇所を作成した。

(2) 劣化曲線構築結果の分析

a) 劣化曲線の分析結果

構築した劣化曲線について、H19年度～H29年度までの実測値にて整合性を分析し、最も適合している劣化曲線を分析した。分析方法は、箇所ごとに構築した直線式、曲線式、マルコフ式それぞれの劣化曲線の予測値と実測値を比べ、 $\pm 2\sigma$ 内となる確率を算出し、3式のうち最も割合の大きい式をカウントした。なお、 σ は、全体式における実測値と予測値の標準偏差(値のばらつき)から箇所ごとに求めた。分析の結果、曲線式が最も実測値を $\pm 2\sigma$ 内に捉えることができることが分かった(表-6)。

表-6 $\pm 2\sigma$ 内となる確率劣化曲線ごとの数

劣化曲線の種類	箇所ごとに、 $\pm 2\sigma$ 内となる確率が最も高くなる舗装劣化曲線をカウントした結果(箇所数)
直線式(近似式)	45
曲線式(近似式)	56
マルコフ式(マルコフ劣化推移モデル)	22

※同率の場合は、それぞれカウントした。

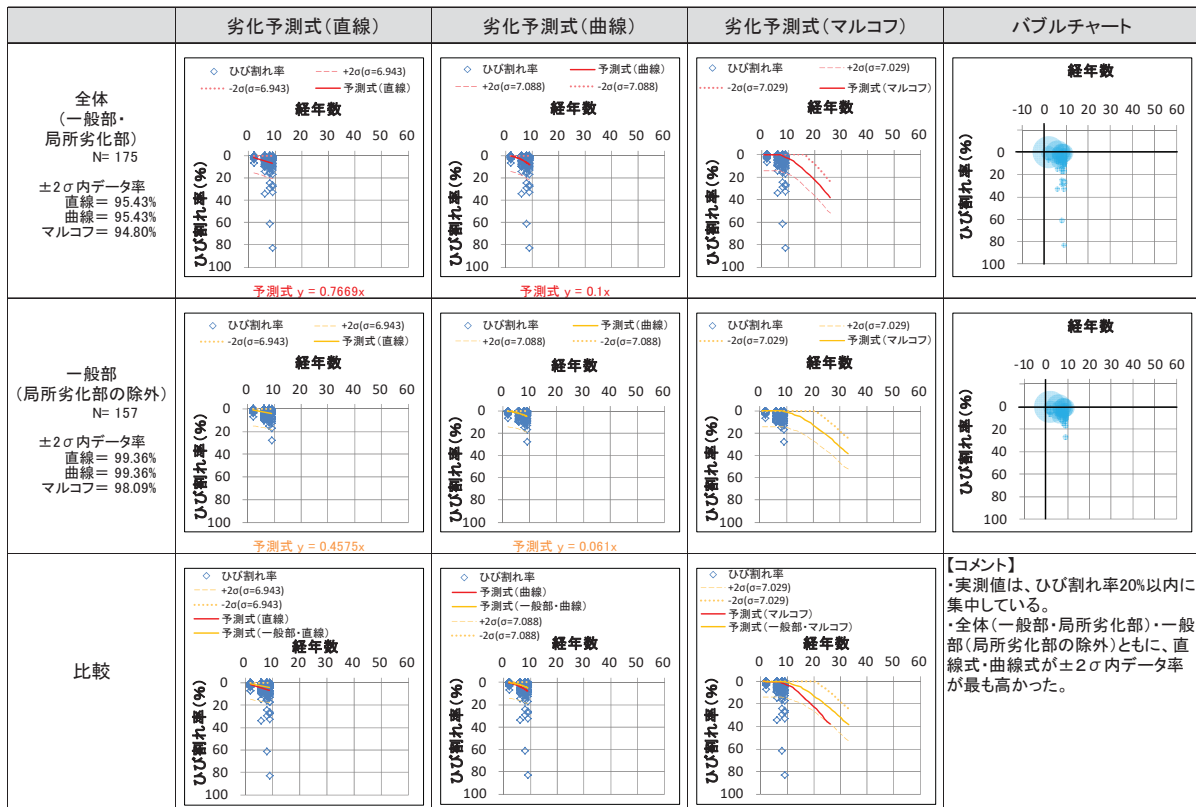


図-7 作成した劣化曲線の例

b) 局所的な劣化部を除外することによる効果の分析

曲線式にて、局所的な劣化部を除外することによる効果の分析を行った。分析方法は、構築した劣化曲線に対して、全体と一般部を比較し、「実測値が予測値の±2σ内に入る割合」が増加したか、減少したかを分析した。分析の結果、局所劣化部を除外したことにより、「実測値が予測値の±2σ内に入る割合」が51.2%の割合で増加した(表-7)。したがって、局所劣化部を除外した方が、精度の良い劣化曲線を構築できると考える。

c) 「よく合致している(95%以上)」の曲線の分析

これまで予測値と実測値の検証をした研究は見受けられないことから、ここでは正規分布の標準偏差±2σの範囲である95%を仕切りとし、±2σ内データ割合が95%以上の箇所を、精度よく構築できていると定義した。±2σ内データ割合が95%以上の箇所は29箇所であり、要因を分析した結果、表-8に示す特徴が見受けられた。局所劣化部(交差点、地下埋設物など)の除外による影響は、全ての路線にあるが、ここでは主たる要因を示している。

d) 「合致が不十分である(90%未満)」の曲線の分析

±2σ内データ割合が90%未満の箇所を、合致が不十分と定義し、その要因を分析した。±2σ内データ割合が90%未満の箇所は、23箇所であり、表-9に示す特徴が見受けられた。

表-7 局所劣化部を除外したことによる影響

比較結果	箇所数	割合 (%)
実測値が予測値±2σ内に入る割合が増加	42	51.2
実測値が予測値±2σ内に入る割合が減少	37	45.1
—	3	3.7

表-8 「よく合致している」要因と箇所数

項目	要因分析結果	箇所数
要因①	局所劣化部(交差点、地下埋設物など)の除外により精度向上したため(図-8)	5
要因②	経過年毎のばらつきが一定のため±2σの範囲が広い(図-9)	13
要因③	経過年を問わずに区間内の路面性状値が密集しており、ばらつきが少ないため	10
要因④	データ数が極端に少ない	1

表-9 「合致が不十分である」要因と箇所数

項目	要因分析結果	箇所数
要因①	補修した時期が異なっており、かつ、古い舗装の状態が良い(図-10)	2
要因②	補修履歴情報に誤りの可能性があり	6
要因③	データ数が少ないため	6
要因④	局所的な劣化が見られたため	2
要因⑤	たわみ量が大きい箇所、ひび割れ率の進行が相対的に早い(図-11)	7

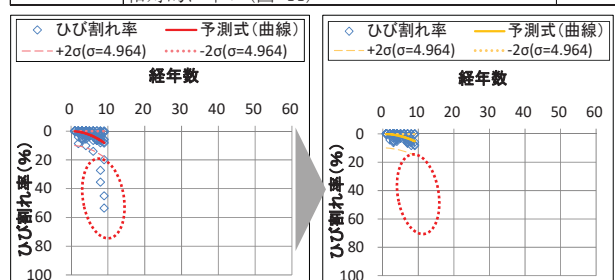


図-8 局所劣化部の除外にて精度向上した例 (No. 12)

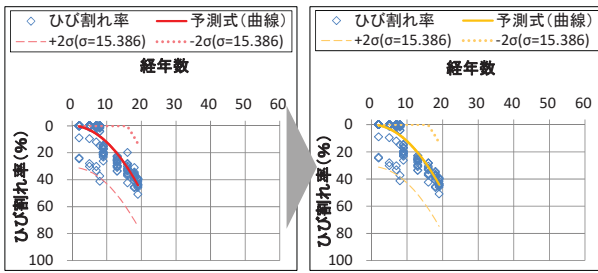


図-9 経過年毎のばらつきが一定の例 (No. 16)

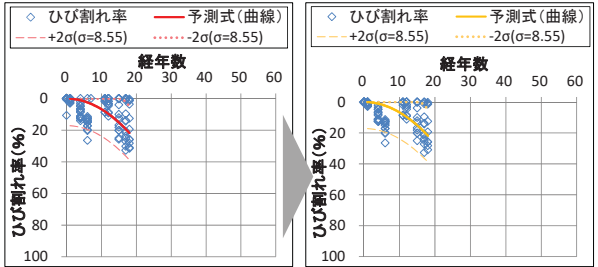


図-10 補修時期が異なり古い舗装が良い例 (No. 5)

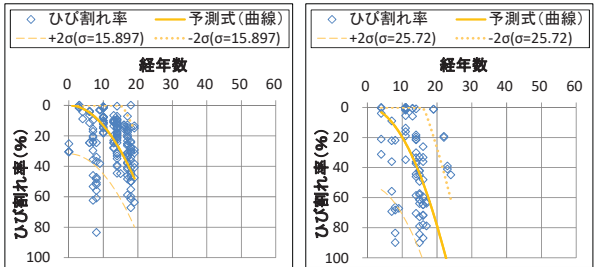


図-11 たわみ量が多い箇所ではひび割れ率の進行が相対的に早い例 (No. 66, 68)

e) たわみ量が多い箇所での要因分析

たわみ量が多い箇所では、ひび割れ率の進行が相対的に早い要因について、FWD計測の結果を用いて分析した。代表箇所 (No.66,68) に着目し、ひび割れ率とたわみ量、アスコン弾性係数、路盤弾性係数の関係を確認し要因を分析した。分析結果を図-12に示す。

要因分析の結果、①たわみ量とひび割れ率の関係から、たわみ量が大きくなるとひび割れ率も大きくなる傾向にあること、たわみ量のばらつきが大きいとひび割れ率のばらつきも大きいことが分かった。さらに、N6交通の許容たわみ量である $400\mu\text{m}$ 未満である区間も多数見られた。②また、ひび割れ率とアスコン層・路盤の弾性係数のそれぞれの関係から、たわみ量のばらつきが大きい区間においては、アスコン層・路盤の弾性係数が、それぞれの目安である $6,000\text{MPa}$ ・ 300MPa 未満の区間が多く、舗装体が健全ではないことが分かった。③したがって、舗装体が健全でない区間においては、たわみ量及びひび割れ率のばらつきも大きくなる傾向にあり、こういった区間において劣化予測を行うことが困難となる可能性があることが分かった。このような箇所においては、舗装体が健全でない要因の検討を進めるとともに、修繕の実施を検討する事が望ましいと考える。

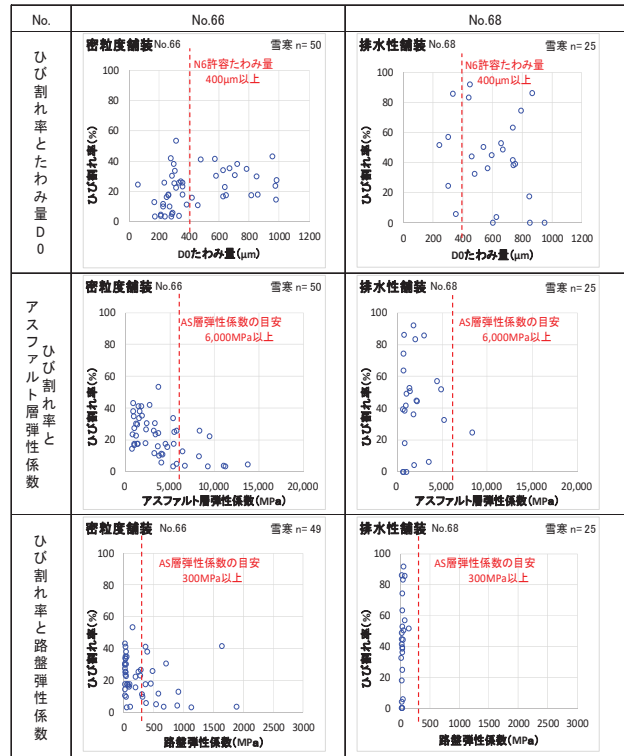


図-12 たわみ量が多い箇所での要因分析結果

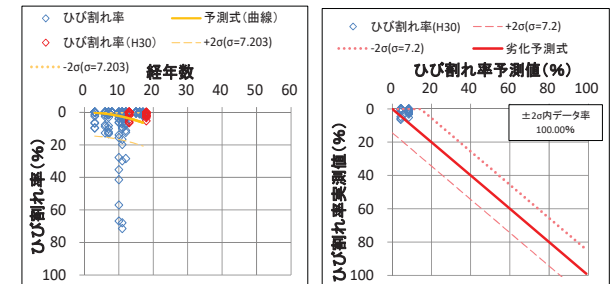


図-13 予測結果の検証例 (No. 22)

表-10 予測値と実測値の整合検証の結果

No.	±2σ判定 (%)	No.	±2σ判定 (%)	No.	±2σ判定 (%)	No.	±2σ判定 (%)
1	80.0	18	83.3	35	100.0	58	0.0
2	85.7	19	86.7	36	50.0	59	97.4
3	77.8	20-1	62.5	37	88.0	60	86.7
4	100.0	20-3	-	38	80.0	61	80.0
5	90.0	21	60.0	39	90.9	62-1	-
6-1	0.0	22	100.0	41	20.0	62-3	76.5
6-3	100.0	23	95.0	42	76.9	63-1	37.5
7	77.8	24	81.8	43	100.0	63-3	-
8	100.0	25	78.4	44	100.0	64-2	-
9	86.7	26	50.0	45	100.0	64-4	76.5
10	91.7	27	78.6	47	95.2	65	89.5
11	84.6	28-1	100.0	48	100.0	66	-
12	100.0	28-3	-	50	100.0	67	92.9
13	100.0	29	89.5	52-2	100.0	68	100.0
14-1	100.0	30	87.5	52-4	60.0	69-2	88.0
14-3	96.3	31-1	100.0	53	60.9	69-4	-
15-1	100.0	31-3	100.0	54	78.3	70-2	100.0
15-3	-	32	50.0	55	100.0	70-4	50.0
16	100.0	33	90.9	56	100.0	71	100.0
17	65.4	34	87.5	57	100.0	平均	83.0

7. 劣化曲線の検証

劣化曲線にて H30 年度のひび割れ率を予測し、実測値との整合性を検証した。比較検証した結果、全箇所平均で $\pm 2\sigma$ 内データ割合は、約 83%の精度であった (図-13, 表-10)。これは「局所劣化部を除外することにより精度が向上」等の理由から達成した割合であり、補修履歴情報等の正誤確認を行う等、データクリーニングを進めることで、更に精度の向上が可能であると考えられる。

8. 劣化曲線の構築のための留意点の整理

(1) 周辺環境情報の反映

局所劣化部（交差点前後，地下埋設物，橋梁前後，大型車の出入り等）を除くと，劣化曲線の精度は上昇する傾向にある．そのため，現地条件を整理し劣化傾向を把握し，劣化曲線を構築することが重要である．

(2) データクリーニング

劣化曲線を構築する箇所は，正確な修繕履歴を把握する必要がある．また，舗装種を変更した箇所や頻りに修繕している箇所は，有効なデータが少なくなる可能性があるため，劣化曲線の構築の際には，留意が必要である．

(3) 劣化曲線の構築が困難な箇所

実測値が，大きくばらついている箇所は，アスコン層や路盤の劣化が進行している可能性があり，構造劣化している可能性が大きい．また山間部など盛切区間が連続する箇所は，たわみ量のばらつきが大きく，劣化曲線を構築することが困難（精度が低下する）な傾向にある．

9. おわりに

(1) 更なる精度向上へ向けて

劣化曲線の更なる精度向上へ向けて，修繕回数ごとの違いに着目した劣化曲線を構築することも有効であると考え．例えば，修繕1回目の劣化速度と2回目の劣化

速度は異なる可能性があり，劣化曲線を分けて構築した場合，精度が向上する可能性があると考え．

(2) 劣化曲線の活用へ向けて

現場（管理者）での劣化曲線の活用を考えると，国道事務所の路線ごとに代表箇所を設定し劣化曲線を構築することが有効であると考え．国道事務所の路線ごとに代表箇所を設定し劣化曲線を構築することで，使用目標年数の設定や評価診断の参考となる劣化曲線の構築につながる可能性があると考え．

謝辞：本調査は，対象区間を管理する道路管理者のご理解・ご協力の下，実施したものである．ここに記して関係各位に謝意を表す．また，本稿に示した成果は，平成28年度から平成30年度にかけて国土交通省関東技術事務所で発注された業務で得た成果の一部である．

参考文献

- 1) 内閣府政策統括官（経済社会システム担当）：日本の社会資本 2017～Measuring Infrastructure in Japan 2017～，p17，2017．
- 2) 日本道路協会：舗装点検要領に基づく舗装マネジメント指針，p23，2018．
- 3) 日本道路協会：舗装点検要領に基づく舗装マネジメント指針，p102，2018．
- 4) 小林潔司，熊田一彦，佐藤正和，岩崎洋一郎，青木一也：サンプル欠損を考慮した舗装劣化予測モデル，土木学会論文集F，Vol.63，No.1，pp.1-15，2007．

(2019. 6. 13 受付)

CONSTRUCTION AND VERIFICATION OF PAVEMENT DETERIORATION CURVE CONCERNING REPRESENTATIVE PARTS BY REGION AND CONDITION

Hiroaki SAKAGUCHI, Hisho MORI, Toshiaki KIKUCHI, Takeo IRIE
and Kosaku KUBOTA

In the past research, research results on the road pavement deterioration predictions are accumulated and have been used for asset management. Many of them, use probabilistic deterioration predictions to support with the uncertainty deterioration process. However, any verified research might not been found for deterioration prediction results analyzed by the actual measurement results. So, in the main research, the deterioration curve was constructed from survey results of the road surface property about representative parts in the Kanto Maintenance Area and it verified by the actual measurement results. Concretely, tendency of the selected representative parts were analyzed, and locally deteriorated parts were excluded to construct the deterioration curve. The deterioration curve was constructed by the least squares approximation (straight line, curve) and Markov equation. For the constructed deterioration curve, the consistency between predicted value and road surface property were confirmed, and the remember points were organized for construction of the pavement deterioration curve.