

一般化線形モデルを用いた高速道路舗装の 効率的な維持管理手法に関する検討

楠橋 康広¹・下谷 幸一²・濱岡 裕樹³

¹正会員 西日本高速道路株式会社中国支社 事業調整部 (〒731-0103 広島市安佐南区緑井2-26-1)

E-mail:y.kusuhashi.aa@w-nexco.co.jp

²非会員 西日本高速道路株式会社中国支社 事業調整部 (〒731-0103 広島市安佐南区緑井2-26-1)

E-mail:k.shimotani.aa@w-nexco.co.jp

³正会員 西日本高速道路エンジニアリング 中国株式会社 土木事業本部 (〒733-0037 広島市西区西観音町2-1)

E-mail:y-hamaoka@w-e-chugoku.co.jp

高速道路のアスファルト舗装を適切に維持管理するためには、定期点検や各種調査により舗装路面の損傷範囲と舗装内部の損傷深さを精度よく把握し、補修工事で損傷範囲を確実に補修することが重要である。路面の損傷は容易に測定できるが、舗装内部の損傷は、直接計測することが困難なため、筆者らは収集可能な情報を用いて、舗装内部の損傷を統計的に推定する手法の開発に取り組んでいる。

本報告では、先行検討で報告した線形モデルを改良して説明変数を見直すとともに、一般化線形モデルを適用することにより、推定モデルの説明力を向上させた。さらに、舗装の内部損傷に影響を及ぼす要因として、大型車交通量と路面勾配を説明変数に追加して推定精度を高めた。その結果、路面から非破壊検査により計測した実測値と良好な整合を示す推定モデルを構築することができた。

Key Words : highway maintenance, asset management, asphalt pavement, generalized linear model

1. はじめに

道路の舗装路面状態を定期的な調査・点検により的確に把握し、適切な時期に補修していくことは道路管理者の使命であり、限りある原資を効果的に活用して維持管理していく必要がある。西日本高速道路(株)中国支社(以下、「NEXCO中国支社」)は、中国5県の高速道路のうち、関西以東と九州を結ぶ東西交通を担う山陽道と中国道、及び、瀬戸内海側と日本海側の域内交通を担う岡山道、米子道など12路線、約1,040kmの管理運営を行っており、約30万トリップ/日の利用をいただいているところである。管内の山陽道では全線の日平均断面交通量が約3万台/日を超え、多い区間では約6万台/日に達する。また、大型車混入率も40%前後に達する。中国道や横断道では、交通量は少ないものの、冬季は雪の影響を受けるなど、舗装路面は過酷な環境下にある。

これらを道路資産として適切に維持管理していくために、西日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)、東日本高速道路(株)(以下、「NEXCO」)では定期的な点検・調査を行い、管理目標値を超過した箇所は速やかに補修する

とともに、管理目標値に達しない区間も劣化進行を予測し、優先順位付けによる、中長期的な補修計画(アセットマネジメント)のもとに維持管理を行っている。

アセットマネジメントを適切に行うためにNEXCOでは、(株)高速道路総合技術研究所(以下、「NEXCO総研」)が開発した、高速道路舗装マネジメントシステム(以下、「NEXCO-PMS」)を運用している。これは、高速道路のネットワークレベルにおける中長期的な舗装の劣化モデルとして、多段階指数劣化ハザードモデルを用いてマルコフ推移確率を推計する理論により、舗装路面の劣化過程を統計的に評価する手法¹⁾に基づくものである。

NEXCO-PMSは、ネットワークレベルを対象に中長期的スパンで舗装路面の劣化を予測し、適切な時期に補修を行うことにより路面を良好に維持することを目的とするものであるが、舗装補修工事段階(プロジェクトレベル)では、舗装の損傷範囲(補修面積、補修深さ)を正確に把握し、確実に補修して機能を回復する必要がある。

本検討は、プロジェクトレベルを対象とし、点検・調査から補修に至る一連のサイクルをより確実に行うことを目的として、点検・調査から得られる舗装路面の情報

から内部損傷の程度を統計的に推定する手法の精度向上を図ったものである。表-1に、高速道路の舗装マネジメントにおける、本検討とNEXCO-PMSの位置づけを示す。

表-1 本検討とNEXCO-PMSの位置づけ

	適用範囲	目的
NEXCO-PMS	ネットワークレベル	中長期の劣化予測
本検討	プロジェクトレベル	補修範囲の設計

2. 舗装の点検・調査の課題と本検討の目的

(1) 舗装の点検・調査の課題

NEXCO中国支社では、日常・定期的な点検に加えて、所掌する約3,300車線kmを2～3年サイクルで路面性状測定車(写真-1(a))により舗装路面性状(わだち、ひび割れ、平坦性(IRI))の測定を行っている。測定されたそれぞれの項目が管理目標値を超過した区間は、FWD (Falling Weight Deflectometer)を搭載した測定車(写真-1(b))による非破壊検査(FWD調査)や舗装体調査(コア採取)により舗装内部の損傷の深さ(以下、「内部損傷」)を確認し、補修範囲を決定している。



(a) 路面性状測定車

(b) FWD測定車

写真-1 路面性状測定車とFWD測定車

路面性状測定車による舗装路面の調査は、夜間に通常走行(70km/h～80km/h)しながら測定を行う。内部損傷の調査は、FWD測定車を用いて、調査箇所ごとに重錘落下による路面のたわみを測定することにより行う。FWD測定車による調査は、1箇所ごとに測定車を停止させてたわみを測定するため車線規制が必要となり、交通量の多い広島圏や岡山圏の山陽道では夜間や、昼間でも交通量が少ないわずかな時間帯での実施を余儀なくされる。また、調査延長が3kmの場合で約2時間程度の時間を要する²⁾ことから、調査箇所数に制約を受けてしまう。

一方、高機能(排水性)舗装は路面の降水を表層内の空隙を通して排水するため、表層内に滞水する時間が長くなると、表層が健全に見えても基層以下の下層混合物内で剥離などの内部損傷が進行しているケースが報告されている^{3), 4)}。NEXCO中国支社管内の高機能舗装率は約70%に達しており、予防保全的観点からは舗装表面の損傷発生区間のみならず、その他区間でも舗装内部の健全

性を把握しておく必要がある。しかし、前述のように調査効率や交通規制の点において、NEXCO中国支社管内で一斉にFWD調査を行うことは現実的ではない。

その結果、損傷範囲の事前調査が点、または短い線状での判定となり、損傷の面的な分布を反映した判定が困難となることに起因して、舗装補修工事段階で補修深さや補修面積が増加するケースが頻発している。極端な場合はアスファルト合材調達に支障をきたしたり、車線規制時間内に工事を完了できないため、こま切れの施工を余儀なくされた結果、工事費が増加して予算管理に支障をきたしてしまったりする事態が生じることもある。

車線規制を要しない調査手法としては、3次元多配列レーダを搭載した車両による内部損傷評価技術⁵⁾が開発中であるが、現時点では本格稼働には至っていない。

このような背景から、舗装補修工事設計を適切に行うために、路面性状や舗装構造等の比較的容易に入手可能な情報から内部損傷範囲を精度よく推定する手法の開発は次善の策として重要である。

舗装路面の損傷と内部損傷の関連について、城本ら⁶⁾は、路面のプロファイルが走行車両による動的荷重に及ぼす影響を把握し、動的荷重の指標として提案した修正動的荷重係数の経年変化が、舗装構造のダメージの経年変化と相関があることを確認したが、構造的ダメージの推定手法の構築には至っていない。渡邊ら⁷⁾は、舗装の構造的健全度の指標をアスファルト混合物層の弾性係数とし、関東地方近辺の幹線道路における構造的健全度と路面性状の関係について調査した結果、密粒度舗装区間では路面性状の中でもひび割れ率が舗装の構造的健全度と関連が高いことを示している。しかし、文献6)と同様に、内部損傷の推定手法の提案には至っていない。

(2) 本検討の目的

前節で述べた課題を解決し、舗装補修工事に先立つ発注設計に、アスファルト舗装の内部損傷を精度良く反映して確実に補修するために、筆者らは、FWD調査に依らないで内部損傷程度を統計的に効率良く推定可能な手法の開発に取り組んでいる。そして先行検討で、路面性状のひび割れ率(以下、「Gr率」と舗装構造に関する説明変数を用いて、内部損傷程度を重回帰分析により推定するモデル(以下、「内部損傷推定モデル」)を開発した⁸⁾。

しかしながら内部損傷推定モデルは、①直線近似された線形モデルで正規分布を仮定していることから、用いるデータによっては推定値が負値となる可能性がありモデル構造上の問題があること、②説明変数が舗装構造のみであること、③物理的挙動の異なる高機能舗装と密粒度舗装を一括してモデル化していたこと、等の問題点があり、これらの改良が必要と考えた。

3. 舗装の内部損傷推定手法の検討

(1) 検討方針

今回の検討では、NEXCO中国支社管内のアスファルト舗装の約70%を占める高機能舗装区間を対象を絞り、山陽道(広岩道含む)のうち、橋梁・トンネル区間を除く区間とした。そして、この区間で過去に実施したFWD調査結果を用いて、調査結果を精度よく再現するために、一般化線形モデル⁹⁾を用いる推定モデル(以下、「内部損傷GLM」)を構築した。

内部損傷GLMの目的変数は、既往FWD調査で測定された、内部損傷を表す指標とした。説明変数は、既往FWD調査と同時にに行った路面性状調査で観測された路面性状、調査地点の舗装構造に加えて、舗装の内部損傷に影響を及ぼす可能性のある要因として大型車交通量と路面の合成勾配を説明変数に追加した。そして、本手法で推定された内部損傷指標と、既往FWD調査による実測の内部損傷指標を対比することにより本手法の適合性を検証した。既往FWD調査は、舗装補修直前に実施した調査結果(以下、「補修前FWDデータ」と、舗装補修後に経過観察を目的として、NEXCO総研が実施した調査結果(以下、「補修後FWDデータ」)が利用できたため、2つのデータを用いて構築したモデルを検証した。

(2) 推定モデルの構築

a) モデルの定式化

一般化線形モデルは次式で定義される。

$$g[E(y_i)] = \eta_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^n \beta_k \cdot x_{ik} \quad (1)$$

ここに、 g : リンク関数、 y_i : 目的変数、 η_i : 線形予測子、 β_k : 推定すべきパラメータ、 x_{ik} : 説明変数、である。

本検討では、目的変数は非負の連続変数であることと、説明変数となる舗装構造の物理的性質や外部要因が舗装体に及ぼす影響を勘案し、リンク関数を対数関数、目的変数 y_i が従う確率分布をガンマ分布として、式(1)～(3)で内部損傷GLMを構築した。

$$\ln[E(y_i)] = \eta_i \quad (2)$$

$$y_i \sim \text{Gamma}(\alpha, s_i) \quad (3)$$

ここに、 α : ガンマ分布の形状母数、 s_i : ガンマ分布の尺度母数である。

b) 目的変数と説明変数

目的変数は、既往FWD調査で測定された舗装の内部損傷の指標である。NEXCOが行う高速道路の維持管理

に用いる内部損傷の指標は、FWD調査から得られるアスファルト層の損傷指標 $Di(AS)^{10)}$ (以下、「 Di 」)であり式(4)で定義される。

$$Di(AS) = (D_0 - D_{90})/t \quad (4)$$

ここに、 $Di(AS)$: アスファルト層の損傷指標、 D_0 : 重錘落下位置の荷重補正たわみ量(mm)、 D_{90} : 重錘落下位置から90cm地点の荷重補正たわみ量(mm)、 $D_0 - D_{90}$: たわみ差、 t : アスファルト層の設計厚(mm)である。

しかしながら Di は、式(4)に示したように舗装路面に重錘を落下させて測定したたわみ量の差であるたわみ差を調査地点の舗装厚で除した指標であるため、そのまま目的変数とすることは好ましくない。そこで、本検討ではたわみ差を目的変数とした。

説明変数は、舗装体の内部損傷に影響する可能性のある舗装構造や交通量等の外部要因から選定した。

NEXCOでは、式(4)で計算された Di から、表層種別、アスファルト層の設計厚(以下、「 As 舗装厚」)、下層路盤種別の3 要因を用いて、推定されるアスファルト舗装の内部損傷を表-2により区分している¹⁰⁾。よって本検討でも Cr 率に加えて、下層路盤種別、 As 舗装厚を舗装構造の説明変数として用いることとした。

表-2 アスファルト舗装の内部損傷区分

損傷区分	内部損傷の程度
A	全層(表層～上層路盤)の損傷
B	表層と基層の損傷
C	構造的損傷なし

外部要因は、舗装の損傷に影響する可能性の高い累計大型車交通量を用いた。補修履歴のない区間では供用後の累計大型車交通量を、補修履歴のある区間では、前回の補修完了以降の累計大型車交通量とした。さらに、高機能舗装区間を対象とすることから、路面の滞水による内部損傷要因として、滞水の挙動に影響を及ぼす路面の合成勾配を用いた。合成勾配は式(5)で定義される¹¹⁾。

$$S = \sqrt{i^2 + j^2} \quad (5)$$

ここに、 S : 合成勾配(%), i : 横断勾配または片勾配(%), j : 縦断勾配(%)である。

表-3に、本検討で用いた変数一覧を示す。

(3) 使用データ

前述のように本検討では、調査時期の異なる2 種類の既往FWD調査結果を利用できた。第1は補修前FWDデータで、平成21年度～23年度に、NEXCO中国支社が舗装

表-3 変数一覧

変 数	単位	摘 要
〔目的変数〕		
たわみ差	10 ³ mm	各調査地点のたわみ差
〔説明変数〕		
Cr 率	%	調査地点のひび割れ率
大型車交通量	百万台	調査地点の累計大型車交通量
合成勾配	%	調査地点の合成勾配
粒状ダミー	1 or 0	1:粒状路盤, 0:セメント安定処理路盤
As 舗装厚	cm	表層～上層路盤厚

補修前の区間を10mピッチでFWD調査を行って収集したものである。第2は補修後FWDデータで、平成17年度以降の舗装補修実施済み区間のうち、補修後の経過観察を実施している区間で、NEXCO総研が10m以上のピッチでFWD調査を行った区間のものである。

これらのうち、高機能舗装区間のもので、既往FWD調査と同年に路面性状調査を実施しており、Cr 率が利用可能なものを抽出して用いた。そして、補修前FWDデータは、損傷が進んだケースと位置付け、補修後FWDデータは、比較的損傷の少ないケースと位置付けて分析し、内部損傷GLMによる推定手法の効果を把握するために両者を比較検証することとした。

次に、観測された D_i とCr 率を条件として、補修前FWDデータと補修後FWDデータのデータクリーニングを行った。 D_i の条件は、隣接するFWD調査個所の値と対比して500以上増減している地点のサンプルを除去した。これは、パッチング等による局所的な応急補修個所を測定した可能性があるためで、特異なたわみ値を計測した懸念がある。Cr 率の条件は、NEXCO西日本の管理目標値が20%であり、本検討の目的も管理目標値未満の範囲の損傷を想定していることから、この値を超えたサンプルも特異値として除去した。その結果、補修前FWDデータは1,160個(補修後の平均経過月数114ヶ月)、補修後FWDデータは170個(補修後の平均経過月数53ヶ月)

表-4 データの諸元

	平均値	標準偏差	中央値	最大値	最小値
【補修前 FWD データ(n=1160, 平均経過月数 114 月)】					
たわみ差	104.7	72.7	86.5	399	14
Cr 率	2.1	3.4	1.0	18.8	0.0
大型車交通量	17.7	5.0	17.2	27.4	6.6
合成勾配	3.4	1.3	3.1	8.0	1.6
粒状ダミー	0.6	0.5	1	1	0
As 舗装厚	25.1	3.2	25	29	20
【補修後 FWD データ(n=170, 平均経過月数 53 月)】					
たわみ差	135.6	65.5	128.5	328	27
Cr 率	0.3	0.7	0	3.8	0.0
大型車交通量	7.4	3.1	10.2	10.5	3.2
合成勾配	2.4	0.6	2.1	4.1	0.5
粒状ダミー	0.3	0.5	0	1	0
As 舗装厚	21.2	2.3	20	24	18

のサンプルを用いて検討を行った。

使用したデータの諸元を表-4に示す。このうち、Cr 率とたわみ差の関係を図-1に示す。補修後FWDデータの経過月数は補修前FWDデータの経過月数の1/2程度であ

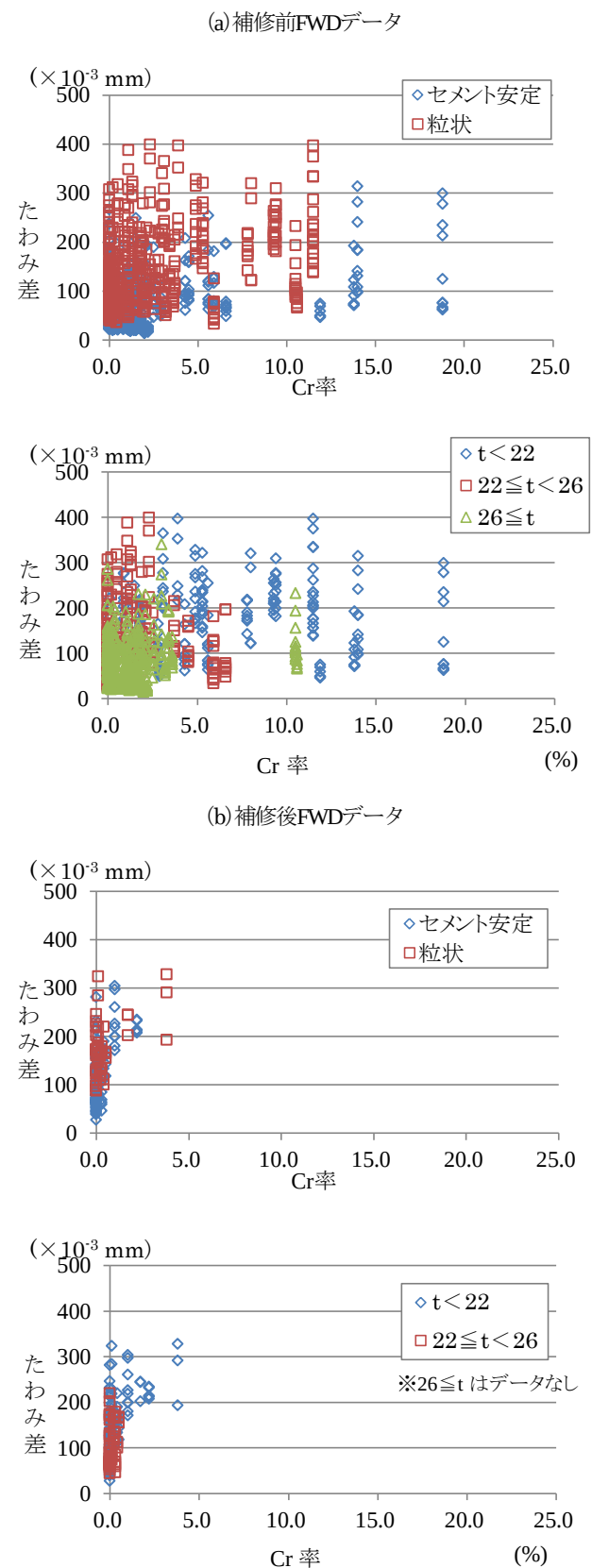


図-1 データの諸元 (Cr 率とたわみ差)

表-5 変数間の相関係数

(a) 補修前FWDデータ

	たわみ差	Cr 率	大型車交通量	合成勾配	粒状ダミー	As 舗装厚
たわみ差	1					
Cr 率	0.3284	1				
大型車交通量	-0.2773	0.1257	1			
合成勾配	-0.3055	-0.0408	-0.1733	1		
粒状ダミー	0.4380	-0.0310	0.0413	-0.3998	1	
As 舗装厚	-0.5375	-0.4929	0.0277	0.4264	-0.0940	1

(b) 補修後FWDデータ

	たわみ差	Cr 率	大型車交通量	合成勾配	粒状ダミー	As 舗装厚
たわみ差	1					
Cr 率	0.5267	1				
大型車交通量	-0.1080	-0.0348	1			
合成勾配	-0.0271	0.0484	-0.0671	1		
粒状ダミー	0.3836	0.1582	0.5890	-0.4254	1	
As 舗装厚	-0.4758	-0.2905	0.7815	-0.1279	0.3215	1

ることもあり、路面から観察されるCr率は小さいが、たわみ差は補修前FWDデータと同程度の値を示している。このことは、高機能舗装では、内部損傷が生じ、たわみ量が大きくなっても表面損傷として顕在化し難いという既往研究^{2) 3)}や、現場での経験的な知見と合致していると考えられる。

最後に、表-5に補修前FWDデータと補修後FWDデータのそれぞれのケースで、各変数間の相関係数を示す。

メータ推定値の符号は負となり、As舗装が厚いほど、合成勾配が急で路面に滞水しにくいほど内部損傷を受けにくいと考えられる。しかし、大型車交通量の負の符号は事前の予想と逆となった。この結果の解釈は、さらなる精査を要する。

表-6 内部損傷GLMの推定結果

(a) 補修前FWDデータ

説明変数	パラメータ推定値	t値	
定数項	7.106	48.75	**
Cr 率	0.033	6.52	**
大型車交通量	-0.034	-11.44	**
合成勾配	-0.088	-6.12	**
粒状ダミー	0.612	19.14	**
As 舗装厚	-0.084	-13.80	**
サンプル数	1160		
Null deviance	553.89		
Residual deviance	232.06		
最大対数尤度	-5849.91		

**:1%有意

(b) 補修後FWDデータ

説明変数	パラメータ推定値	t値	
定数項	7.359	28.24	**
Cr 率	0.124	3.26	**
合成勾配	0.079	1.78	+
粒状ダミー	0.673	11.07	**
As 舗装厚	-0.139	-12.16	**
サンプル数	170		
Null deviance	42.42		
Residual deviance	17.09		
最大対数尤度	-860.77		

**:1%有意, +:10%有意

4. 推定結果と考察

(1) 内部損傷GLMによる推定

本検討では、それぞれのデータについて、パラメータ推定値とt値はRソフトウェア(<http://www.R-project.org/>)により推定した。

a) 補修前FWDデータによる推定

表-6(a)に内部損傷GLMのパラメータ推定結果を示す。すべてのパラメータ推定値が1%水準で統計的に有意となった。また、Null deviance, Residual deviance, 最大対数尤度から計算したモデルの適合性は0.581となり、まずまず適合性のあるモデルが得られたと考えられる。

目的変数に対する各説明変数の寄与の度合いをt値から判断すると、粒状ダミー、As舗装厚、大型車交通量の順で関連性が強いことが推定された。

パラメータ推定値の符号は、Cr率、粒状ダミーが正となり、Cr率が高いほどたわみ差が大きく、内部損傷が進んでいると考えられる。同様に、粒状路盤は、同一条件下ではセメント安定処理路盤より内部損傷が進んでいると考えられる。

一方で、大型車交通量、合成勾配、As舗装厚のパラ

b) 補修後FWDデータによる推定

表-6(b)に内部損傷GLMのパラメータ推定結果を示す。説明変数は補修前FWDデータの場合と同じとしたが、推定結果のAICは、大型車交通量を説明変数から除いた方が良好な適合度を示したため、表-6(b)では、大型車交通量を説明変数から除いた推定結果を示している。

補修後FWDデータによる推定結果は、合成勾配を除くパラメータ推定値が1%水準で統計的に有意となった。Null deviance, Residual deviance, 最大対数尤度 から計算したモデルの適合性は0.597となり、こちらもまずまず適合性があるモデルが得られたと考えられる。

目的変数に対する各説明変数の寄与の度合いをt 値から判断すると、粒状ダミー、As 舗装厚、次いでCr 率の順で関連性が強いことが推定された。

パラメータ推定値の符号は、As 舗装厚のみが負となり、他の説明変数の符号は正となった。Cr 率、粒状ダミーについては、前項の補修前FWDデータと同様な解釈が可能と考えられる。一方、合成勾配の符号は正となり、前項の補修前FWDデータと逆の結果となったが、推定値は5%有意水準で有意とならなかった。このことは、表-5 に示したように、目的変数と合成勾配の相関が小さいことにも起因していると考えられる。また、表-4に示したように、補修後FWDデータの合成勾配が補修前FWDデータの合成勾配より小さく、標準偏差も小さいことから、この程度の値では、目的変数に対する合成勾配の影響が明瞭になっていないとも推測される。

(2) 実測 D_i と推定 D_i との対比

図-2及び表-7に、補修前FWDデータと補修後FWDデータのそれぞれについて、既往FWD調査から得られた D_i (以下、「実測 D_i 」)と、推定されたパラメータを用いて計算した D_i (以下、「推定 D_i 」)について、舗装構造により区分した散布図と、時点の異なる2つのデータから導かれた内部損傷区分の適合性を集計した一覧表を示す。本節では、これらを用いて両者の適合性について考察する。

a) 補修前FWDデータ

表-7(a)より、実測 D_i と推定 D_i より導かれた内部損傷区分の的中率は0.644となった。舗装構造別にみると、粒状路盤で、As 舗装厚が $22 \leq t < 26$ のクラスにおいて、内部損傷を過大に判定してしまう傾向があることがわかった。文献10)によると、このクラスでは、表-2 に示した損傷区分B とC の閾値となる D_i は500としている。このクラスで過大判定となった96個の推定 D_i の値を照査すると、 $500 \leq \text{推定}D_i < 550$ の閾値近傍と推定されたサンプルが過大判定となった96個中53個存在した。このことは、閾値近傍と推定されたサンプルをいずれの損傷区分に分類するかを判定を誤ると、モデルの適合性を左右するだけでなく、確実な補修につながらない懸念がある

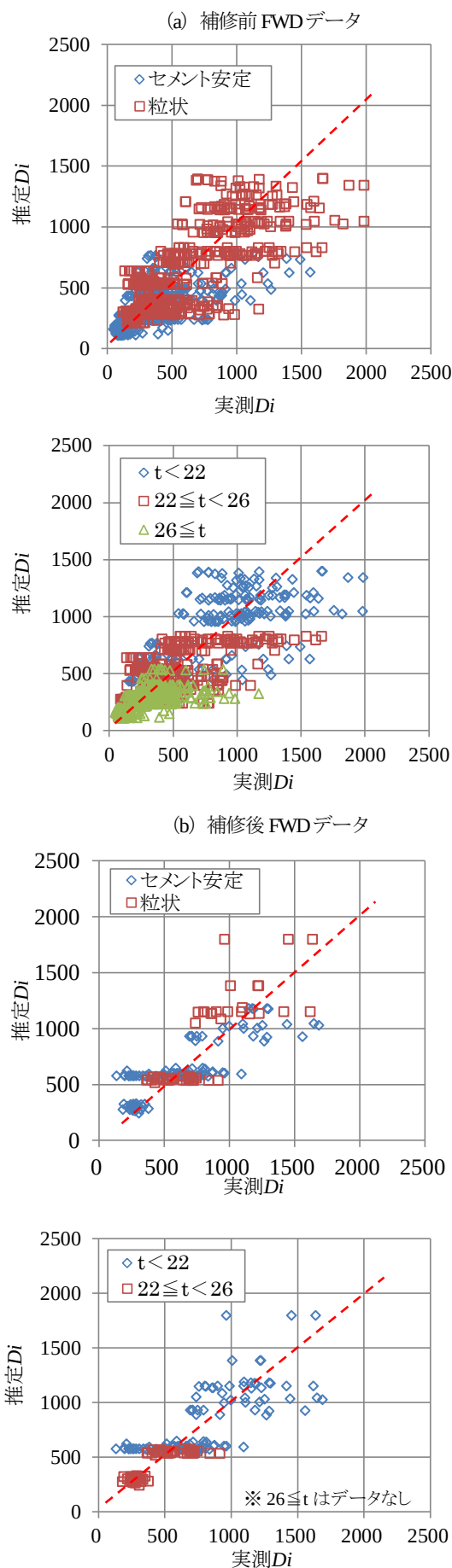


図-2 D_i と推定 D_i の対比

ため、閾値近傍のサンプルの損傷区分判定には、慎重な判断が求められることを示唆していると考えられる。

また、図-2(a)に見られるように、実測 D_i と推定 D_i が赤色点線に対し、水平方向にばらつく傾向が確認できた。これは、目的変数となる補修前FWDデータは10mピッチで測定したのに対し、説明変数のGr率のピッチは100mとなるなど、目的変数と説明変数の計測ピッチの不整合に起因している可能性がある。路面状況を精緻に説明可能な変数をモデルに追加して計測ピッチを整合させるか、内部損傷GLMの適用限界を明らかにする必要がある。

b) 補修後FWDデータ

表-7(b)より、実測 D_i と推定 D_i の的中率は0.759となり、まずまず的中率が得られた。

蓄積されたサンプル数が少ないので即断はできないが、前項で考察したように、本検討で用いた説明変数では、今後、時間の経過とともにポットホールのような局所的損傷が顕在化してくると、推定 D_i が実測 D_i に合致しなくなるケースが増えてくる可能性があると考えられる。

表-7 内部損傷区分の適合性

(a) 補修前FWDデータ

下層路盤	As 舗装厚	的中	過大判定	過小判定
セメント 安定	$t < 22$	67	0	17
	$22 \leq t < 26$	106	17	32
	$26 \leq t$	165	62	33
粒状	$t < 22$	95	19	13
	$22 \leq t < 26$	78	96	41
	$26 \leq t$	236	43	40
合 計		747	237	176

的中率: $747/1160 = 0.644$

(b) 補修後FWDデータ

下層路盤	As 舗装厚	的中	過大判定	過小判定
セメント 安定	$t < 22$	59	6	19
	$22 \leq t < 26$	35	0	0
	$26 \leq t$	-	-	-
粒状	$t < 22$	16	4	1
	$22 \leq t < 26$	19	9	2
	$26 \leq t$	-	-	-
合 計		129	19	22

的中率: $129/170 = 0.759$

5. おわりに

本検討では、舗装の内部損傷を把握する代表的な調査手法であるが、効率性の点で課題のあるFWD調査を補完する手法として、内部損傷推定モデルを改良した内部損傷GLMを構築し、その効果について検討した。その結果、以下の結論を得ることができた。

第一に、本手法による推定 D_i と実測 D_i の的中率は0.64

～0.76と、まずまずの適合性が得られた。

第二に、補修後経過月数が短い場合は比較的良好な適合性が得られるが、時間の経過とともに局所的損傷が顕在化してくると的中率が低下する。

第三に、内部損傷ランクの閾値付近と推定された場合は、内部損傷GLMのみに依ることなく、総合的に損傷ランクを判断する必要がある。

以上より、内部損傷GLMを用いて路面性状や舗装構造等の要因から内部損傷を推定することの有効性が確認できたと考えている。

今後の課題として、以下の3点が挙げられる。

- ・説明変数の照査によるモデルの適合性の向上。
- ・FWD調査を継続実施し、舗装構造に偏りのない測定サンプルの蓄積によるモデルの信頼性向上。
- ・内部損傷GLMの推定結果を舗装補修設計に精度よく反映するためのマニュアル作成。

これらの課題については、引き続き検討を加え、本手法の精度と利便性を高めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 熊田一彦, 江口利幸, 青木一也, 貝戸清之, 小林潔司: モニタリングデータを用いた高速道路舗装の統計的劣化モデルの検討, 土木学会舗装工学論文集, 第14巻, pp.229-237, 2009.12.
- 2) 神谷恵三: 高速道路舗装の非破壊構造診断に関する研究, 建設の施工企画 11月号, pp.9-13, 2009.
- 3) 神谷恵三, 山本忠守: 高速道路における高機能舗装の構造評価, 土木学会舗装工学論文集, 第9巻, pp.171-176, 2004.12.
- 4) 神谷恵三, 内藤政男: 高機能舗装の下層損傷に関する一考察, 土木学会舗装工学論文集, 第10巻, pp.17-22, 2005.12.
- 5) 佐藤雅規, 大井明, 佐藤正和: 舗装体の内部損傷評価に関する検討, 第29回日本道路会議論文集, 2011(CD-ROM).
- 6) 城本政一, 川村彰, 富山和也, 高橋清: 路面のプロファイルと舗装に生ずる構造的ダメージの相関性について, 土木学会論文集 E1(舗装工学), Vol167, No.3(舗装工学論文集第16巻), pp. I_73- I_79, 2011.
- 7) 渡邊一弘, 井谷雅司, 久保和幸: アスファルト舗装のひび割れに関する新たな評価指標の提案, 第12回北陸道路舗装会議技術論文集, A-4, 2012.
- 8) 楠橋康広, 下谷幸一, 濱岡裕樹: 統計的手法に基づいた高速道路舗装の効率的な維持管理手法に関する検討, 第48回土木計画学研究発表会・講演集, Vol.48, 2013(CD-ROM).
- 9) 例えば, 久保拓弥: データ解析のための統計モデリング入門, 岩波書店, 2012.
- 10) 西日本高速道路株式会社: 設計要領 第一集 舗装編, 2012.
- 11) (社)日本道路協会: 道路構造令の解説と運用 昭和58年2月, p301, 1983.