高速道路における舗装路面のひび割れ劣化モデルに関する検討

株式会社　高速道路総合技術研究所　　正会員　○熊田　一彦
株式会社　高速道路総合技術研究所　　正会員　　江口　利幸

１．はじめに

東・中・西日本高速道路㈱（以下,「NEXCO」という）が管理する高速道路では，舗装路面の主な補修理由が「わだち掘れ」から「ひび割れ」へと損傷形態が大きく変化してきている．このため舗装路面の補修計画を効率的・効果的に策定していくためには「ひび割れ」の劣化進行を的確に評価するモデルを早期に確立することが求められている．

しかしながら，舗装の損傷に影響を及ぼす因子は実に多様であり，これまでに「ひび割れ」を定量的に測定し，具体的な劣化モデルを分析した事例は報告されていない．このため㈱高速道路総合技術研究所では全国にモニタ区間（約1200km 車線）を設定し，継続的に路面性状を測定することにより「ひび割れ」の劣化進行に関する特性をネットワークレベルにおいて統計的に分析する研究を進めている．

なお本来，ひび割れは機能的な損傷か構造的な損傷かにより補修工法や方法が異なるため，ひび割れの劣化進行と構造的な耐久性の関係を分析し，ライフサイクルコストを評価していくことが必要であるが，今回，路面性状測定で得られたひび割れデータからは，これら損傷を明確に区分することはできない．

こうした認識のもと，本文はモニタ区間における平成18年及び19年に「ひび割れ」を測定したデータを基に，多段階指数ハザードモデルを用いたマルコフ推移確率を推定することにより，舗装種別・道路構造・交通区分等を考慮した「ひび割れ」の劣化モデルの検討を行なった結果を報告するものである．

２．ひび割れ劣化モデルの分析方法

2.1 分析データの諸元

分析に用いたモニタ区間（約 1200km 車線）の諸元を**表-1** に示す．モニタ区間は舗装種別・道路構造・交通特性等を考慮のうえ全国より選定している．

また分析にあたっては，補修等により損傷が改善された約210km 車線のデータを除く 991.5km 車線を対象とした．

なお NEXCO ではひび割れの評価基準長を 100m と規定していることから（試験法 JHS226），今回分析の対象となるデータ件数は9,915 件である．

2.2 損傷度の分類

データは1件につき H18 及び H19 の2回分の測定値を持つ．マルコフ推移確率はこの2点間の劣化の推移を確率行列を用いて表現するシステムである．

今回，表-2 に示す損傷度に応じたランク分けをすることにより，各損傷度間で生じた劣化の推移件数を図-1 に示す．

これは H18 に損傷が発生していなかった区間（損傷度 0）に対し，H19 でも損傷度0のままであった区間が4724件（約48%），H19 に初期のひび割れが確認された区間（損傷度 1）

表-1 分析データ件数とその内訳

交通区分	重交通	中交通	軽交通
件数 (比率)	5,063 (40%)	3,281 (26%)	4,262 (34%)
舗装種別	高機能	密粒	コンクリート
件数 (比率)	7,330 (58%)	4,438 (35%)	646 (5%)
道路構造	土工	橋梁	トンネル
件数 (比率)	9,270 (74%)	2,350 (19%)	986 (8%)

表-2 損傷度のレーティング

損傷度	ひび割れ率 (%)
0	ひび割れ無し
1	0〜1% 以下
2	1〜7.5% 以下
3	7.5〜15% 以下
4	15%〜

		H19 測定				
損傷度		0	1	2	3	4
H18 測定	0	4724	1255	216	16	15
	1		1630	591	37	21
	2			932	153	29
	3				84	46
	4					166

図-1 損傷度別に見た劣化進行の件数

表-3 マルコフ推移確率行列

$$\prod(1) = \begin{pmatrix} 0.756 & 0.203 & 0.035 & 0.003 & 0.001 \\ 0 & 0.712 & 0.247 & 0.037 & 0.004 \\ 0 & 0 & 0.743 & 0.221 & 0.036 \\ 0 & 0 & 0 & 0.748 & 0.252 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

キーワード　ライフサイクルコスト，補修計画，ひび割れ，マネジメントシステム，高速道路
連絡先　〒194-8508　東京都町田市忠生 1-4-1　株式会社高速道路総合技術研究所　舗装研究室　TEL 042-791-1621

が 1255 件（約 13%），比較的大規模なひび割れに進行した区間（損傷度 4）が 15 件（約 0.2%）であった結果を示している．また H18 と H19 の損傷度が同一である区間が 7,544 件（76%），損傷度の差が 1 である区間が 2,045 件（21%）と全体的には損傷度の進行は少ない状況にある．

2.3 多段階指数ハザードモデルを用いたマルコフ推移確率

多段階指数ハザードモデルを用いてマルコフ推移確率を求めた結果を表-3 に示す．なお今回，信頼度を示す t 値は 38.6～10.4 と分析に十分な値が得られた．

マルコフ推移確率は，多段階指数ハザードモデルを用いて推定することにより推移確率 π_{ij} をハザード関数 θ_i と測定間隔のみで表現することが可能であり，劣化過程が過去の履歴に依存しないというマルコフ性を表現できる．

ここでは算出過程[1)]の記載を省略するが，今回は H18(τ_{18})に測定された損傷度 $h(\tau_{18})=i$ から 1 年後の H19 (τ_{19})に損傷度 $h(\tau_{19})=j$ $(>i)$ へ推移するマルコフ推移確率 π_{ij} (1)を，$k=i$ または $k=j$ 時における条件付で

$$\pi_{ij}(1) = \Pr ob\left[h(\tau_{19}) = j \mid h(\tau_{18}) = i\right]$$
$$= \sum_{k=i}^{i}\prod_{m=i}^{k-1}\frac{\theta_m}{\theta_m-\theta_k}\prod_{m=k}^{j-1}\frac{\theta_m}{\theta_{m+1}-\theta_k}\exp(-\theta_k) \qquad (式1)$$
$$(i=1,\cdots,J-1,\ j=i+1,\cdots,J)$$

と定義している．

3．ひび割れ劣化モデルの分析結果

舗装種別とひび割れの劣化進行の関係を図-2 に示す．平均的なひび割れの進行速度はひび割れ率が 20%に達するまでの期間としては約 13 年程度であり，高機能舗装よりも密粒度舗装で比較的早く，コンクリート舗装では非常に遅い傾向が得られた．これは高機能舗装に用いるバインダの耐久性の高さ及び，一般に長期耐久性に優れると言われるコンクリート舗装の剛性の高さによるものと考えられる．

次に道路構造とひび割れの劣化進行の関係を図-3 に示す．ひび割れの進行速度は土工部と橋梁部では類似しているのに対し，トンネル部では非常に遅い傾向が得られた．ただし，土工部と橋梁部においてもひび割れ率が 15%を超える状態では，土工部における進行速度が早い傾向にある．一方でトンネル部については，NEXCO ではコンクリート舗装またはコンポジット舗装構造を採用しており，これら剛性の高い舗装構造の差が影響しているものと考えられる．

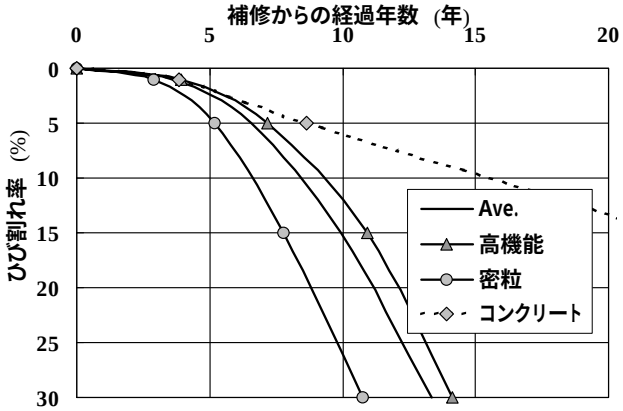

図-2 舗装種別とひび割れの劣化進行の関係

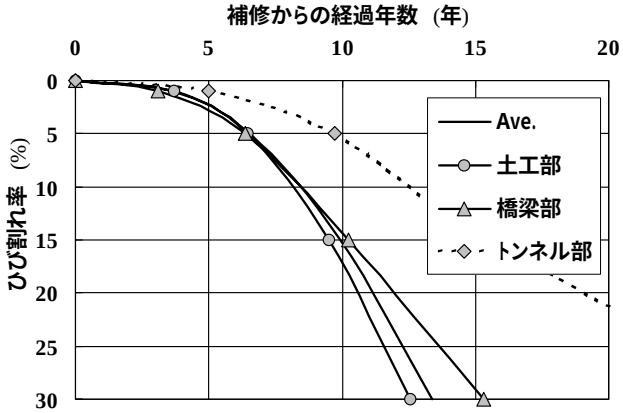

図-3 道路構造とひび割れの劣化進行の関係

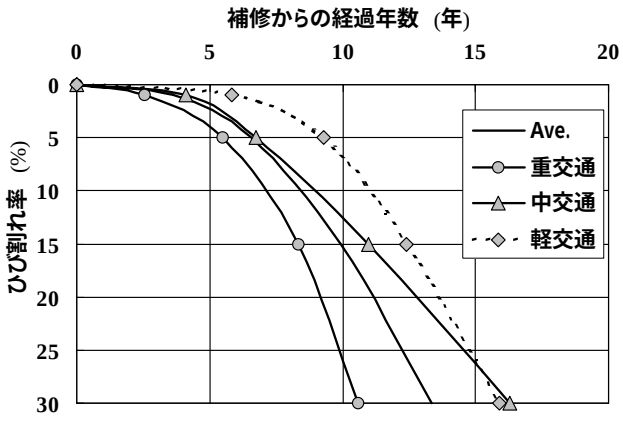

図-4 大型車交通区分とひび割れの劣化進行の関係

最後に大型車交通区分とひび割れの劣化進行の関係を図-4 に示す．

ひび割れの進行速度は大型車交通量に応じて早くなる傾向が得られた．一方でひび割れ率が 15%を超える状態では，中交通区間における劣化進行が遅くなる状況も見られるが，これは中交通区間において 20%を超えるひび割れ率のデータが 83 件（中交通データの 3%程度）と非常に少なく，データに偏りが生じたことが要因と考えられる．

このため今後ともデータの偏りに着目した評価方法を検討する必要があると考えている．

4．まとめ

今回は，ひび割れに着目した劣化モデルを検討し，道路諸元に対する劣化進行速度の具体的な評価例を示すことができた．今後はこれら分析結果を基に，測定データの精度やデータの欠損の課題を整理し，より精度の高いモデル式を検討するとともに， FWD をはじめとする構造的な損傷データを考慮したモデル式も研究していく予定である．

1) 小林等，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，ＶＯＬ６３，pp1-15，2007．