全国の直轄国道点検データを用いた 劣化傾向把握と信頼性を考慮した予測結果評価

鈴木達朗¹・吉沢仁²・井上浩一³・中須賀聡⁴・竹内康⁵

¹ 正会員 国際航業株式会社 インフラマネジメント部 (〒183-0057 東京都府中市晴見町 2-24-1)

E-mail: tatsuro_suzuki@kk-grp.jp

² 正会員 国土交通省秋田河川国道事務所 (〒010-0951 秋田県秋田市山王 1-10-29)

³ 正会員 国際航業株式会社 インフラマネジメント部 (〒660-0805 兵庫県尼崎市西長洲町 1-1-15)

⁴ 非会員 国際航業株式会社 東日本公共営業部 (〒183-0057 東京都府中市晴見町 2-24-1)

⁵ 正会員 工博 東京農業大学 地域環境科学部 (〒156-8502 東京都世田谷区桜丘 1-1-1)

本研究は、全国の直轄国道における路面性状調査の結果を用いて、現在、運用されている舗装点検要領内(2016.10)に規定された診断区分Ⅱ(表層機能保持段階)からⅢ(修繕段階)への移行過程におけるひび割れ率の劣化傾向に着目し分析を行ったものである。分析においては、複数年の点検履歴から単年度の平均劣化量を算出し、ひび割れ率の経年劣化量の分布傾向が概ね正規分布となることを確認するとともに、路面性状調査で発生する誤差を統計的に除外し劣化状況を分析する手法を提示した。また舗装劣化予測に信頼度の概念を導入し、信頼度別、交通区分別に劣化進行速度を求めるとともに、全国の標準的な舗装で起こるひび割れ率を診断区分別の生起確率として示した。

Key Words : asphalt pavement, field survey, big data, Smirnov grubbs' test, reliability, crack

1. はじめに

高度経済成長期に数多く建設されたインフラ構造物の中で、道路舗装は身近な存在であり、日々の交通を支えている重要な施設である。また、インフラ構造物の中でも局所的に存在している施設ではなく、連続的に作られている施設であることが特徴である。

道路舗装の多くが高度経済成長期に建設され、さらに現在に至るまで建設され続けている。一方、現存する道路舗装については、今後も維持管理を続けるため、財源や点検・補修に携わる人材不足が問題となっていることから、限りある財源を効果的に使うための維持管理計画や限りある人材を効率的に維持管理に回すための手法の確立が急務である。

現在、国では舗装点検要領¹⁾に基づき、舗装の劣化を3段階で評価し、段階別に必要な対策や措置について、統一的な基準を示している。

舗装点検要領内では雨水などの浸透により路盤の支持力が低下し、舗装構造全体が損傷することを避けるため、表層機能を保持し続けることが重要²⁾であるとしている。

舗装構造全体を修繕する場合は費用と日数が必要となるが、表層のみの修繕の場合、経費は1/3、修繕日数は1/4になると想定されている。従って、可能な限り表層部のみの劣化に留める必要がある。

しかしながら、雨水の浸透につながる表層部劣化の代表であるひび割れについては、初期のひび割れ発生から現在の舗装点検要領で修繕が必要とされている診断区分Ⅲに至るまで、どのような劣化進行を示しているのか不明な点が多い。

本論文では、全国の直轄国道データとして蓄積されている大量の路面性状調査の結果を用いて、最新の直轄国道の舗装状況について整理するとともに、現在、運用されている舗装点検要領に照らし合わせ、特に路盤の健全性確保につながる診断区分ⅡからⅢに移行するタイミングを捉えたものである。同様に、標準的な劣化進行速度を算出するための手法を提案し、今後の舗装維持管理で道路管理者が運用しやすいよう信頼度の考え方を取り入れ、様々な利用状況の道路舗装に適用できるように提案した。

なお、本データでは、全国の道路延長の約85%を有し

ている市町村道で整理・分析をすることが必要であるが、多くの自治体では平成 25 年度以降の舗装点検の実施が初めて³⁾であり、複数回の点検や補修履歴など分析に必要なデータ蓄積が十分でないことから、定期的な路面性状調査を実施している直轄国道データを用いて、劣化傾向の把握や分析に用いることとした。

2. 収集データの概要

分析するためのデータは、全国の地方整備局及び北海道開発局、内閣府沖縄総合事務局（以下、直轄国道データ）で整備している路面性状調査データを直近の調査から3か年分収集した。路面性状調査データは整備されている舗装管理支援システムよりデータベースを収集し、データベースが無い地方整備局については成果品内の路面性状一覧表を用いた。

直轄国道データで整備されている延長は基本的に下り線を主として点検されており、一部が上下線で整備されているデータとなっている。データの個数は 462,128 区間、延長は上下線の合計で 34,718km のデータである。データ内には 20m と 100m の評価区間が存在し、過年度の点検データにはひび割れ率、わだち掘れ量の平均値と最大値、平坦性が入力されている。また、点検以外に舗装管理に必要なデータとして車線構成、道路構造物、雪寒区分、沿道状況区分、交通条件、大型車交通量による道路区分、舗装工事などが蓄積されている。上記データは統一された様式で整理されていることに加え、一般財団法人土木研究センターの路面性状自動測定装置性能確認試験に合格した路面性状調査車で点検が実施され、舗装調査・試験法便覧に則った解析⁴⁾を実施しているため、規則に則った精度でデータが解析されている。

3. 劣化傾向把握

(1) データ抽出方法

分析に用いるデータは、一般的に利用されている舗装の標準的な劣化傾向を捉えるため、特殊な条件下の舗装を除くための抽出を実施した(図-1)。

路面種別ではアスファルト舗装とコンクリート舗装が該当するが、各々構造や劣化機構が異なるため、今回はアスファルト舗装を対象とした。

路面性状調査データは 20m と 100m の評価区間データが存在しているが、今回収集できたデータで複数回の点検結果が存在したデータは 100m 評価区間データであったため 100m 評価区間データを対象とした。さらに 100m 評価区間データ内には、構造物や路線の状況により、完

全に 100m ではない評価区間も存在している。このような区間についても、分析時に数値の偏りの原因となることから、完全に 100m 評価単位となっている区間を対象とした。

道路構造では橋梁やトンネル部などの構造物が含まれている区間については、土工部と異なる劣化進行が想定されることから、除外対象とした。

ここまでの抽出が直轄国道データで整備された 100m 評価区間の路面性状調査データを用いて、データ仕様上のノイズを除外した内容となる。

次に、前回調査と最新調査を比較した際の抽出条件を絞り込む。

100m 評価区間の路面性状調査データは同区間で複数回調査した履歴がデータとして蓄積されている。今回、データを抽出し分析するにあたり、劣化量が必要なため前回調査と最新調査（以下、2 時期調査）の 2 時期の調査データが存在している必要がある。従って 2 時期の調査データが存在しない区間については除外とした。

同様に劣化量を算出する上で、2 時期の調査間で修繕が行われている場合、劣化が改善していることとなり、純粋な劣化量の算出が困難になるため、2 時期の調査間で修繕記録が残っている区間については除外とした。

以上の抽出方法より、表-1 のように除外後のデータは 161,511 区間となり、当初のデータ個数と比較すると 34.9%の使用率となった。

なお、現状の抽出条件では、前回調査と最新調査の経年数が統一されておらず、2 時期調査の劣化量を集計する上で、課題となることから、今後の分析を円滑に進めるため、単年度毎の劣化量を抽出することとした。計算方法は、2 時期調査の結果の差を経年数で割ることで算出した。

(2) ひび割れへの着目

舗装を長く使用する観点で捉えた場合、路盤以下を傷めないことが重要であり、表層からの雨水の浸透を防ぐことが重要である。従って表層部のひび割れの劣化進行を捉えることが必要であることから、以降は舗装劣化の、特にひび割れについて着目することとした。

(3) 劣化に起因する要素の抽出

舗装の劣化進行に影響を与える要因を舗装構成が変化する大型車交通量による交通量区分（以下、交通量区分）と捉え、抽出することとした。

交通量区分は、設計交通量区分として登録されているデータに着目し、想定されている設計交通量毎の劣化傾向を把握することとした。また、現在の舗装点検要領でも大型車交通量毎の劣化傾向を参考資料として出していることから改めて傾向を把握することとした。

図-1 分析用データ抽出フロー

表-1 除外項目とデータ数

除外項目	データ数
全データ	462, 128
路面種別	430, 437
区間長	246, 478
道路構造	233, 877
2時期調査有無	183, 504
2時期調査時の修繕有無	161, 511
データ使用率	34.9%

図-2 最新調査ひび割れ率よりパーセント毎の変化量の頻度分布

(4) 変化量の頻度分布

ひび割れ率のパーセント毎の年間ひび割れ変化量について図-2に代表値として示した。最新調査ひび割れ率が低いほど、前回ひび割れ率からの変化量も小さく、変化量が0%に集中し、区間数も膨大であることが分かった。また、変化量0%を中心に正負の方向に薄く広がっていくことが分かった。

最新調査ひび割れ率が高くなるに従い、変化量の中心は0%から正の方向に移行し、中心の区間数も徐々に低くなり、正負の方向に山が崩れるような形で広がっていくことが分かった。

このことから、最新調査ひび割れ率のパーセント毎の変化量は、概ね正規分布を形成していることが分かった。

(5) スミルノフ・グラブス検定

ここまでデータ抽出方法及び劣化に起因する要素の抽出を実施したが、データには前回調査結果と最新調査結果で修繕が無いに関わらず点検結果が改善されている区間が存在している。改善されている区間で考えられる

主な要因は、機械誤差や微細な計測位置のズレ、解析オペレーターの熟度などが存在している。

実際の点検データには、前述のように内在する外れ値が存在し、説明が困難な改善データを除外するために統計学的手法として、スミルノフ・グラブス検定³⁾を用いることとした。

スミルノフ・グラブス検定はデータの母集団が正規分布に従うと仮定した標本において、データ内の最大値または最小値が外れ値か判定する検定である。

スミルノフ・グラブス検定では舗装に損傷を与える要因と考えられるデータでグルーピングを行い、検定を実施した。検定方法はグルーピングしたデータ内の平均値と分散を算出し、両側検定を経て、5%水準で有意性を確認し、劣化に起因する要素ごとに標準的な劣化傾向を把握するための分析用データを作成した。

ここに、 T_i : 統計量、 X_i : 最大または最小の測定値、 X_m : 平均値、 $\sqrt{U}$: 標準偏差として算出している。

$$T_i = \frac{X_i - X_m}{\sqrt{U}} \quad (1)$$

ここに、 n ：標本数、 P ：有意水準とし、 $X_i = T_i > S_0$ の場合に外れ値となる。なお、外れ値が複数個存在する場合は、次の計算で $n-1$ 個のデータについて同じように検定を繰り返し、外れ値が無くなるまで実施する。

$$S_0 = (n-1) \sqrt{\frac{t_0^2}{n(n-2) + nt_0^2}} \quad (2)$$

$$t_0 = t\left(n-2, \frac{2P}{n}\right) \quad (3)$$

実施した結果が図-3 及び図-4 であり、各々スミルノフ・グラブス検定前後のデータをプロットした。図-3 では前回調査から改善しているデータが、検定を経て外れ値となった。同様に、図-4 のように年間変化量が極端な最新調査ひび割れ率についても、検定を経て外れ値となっていることが分かった。

(6) 劣化傾向把握

スミルノフ・グラブス検定を経て、抽出した傾向分析データを確認したところ、図-4 の着色されたプロットの通り、最新調査ひび割れ率が低い場合は、変化量の幅が小さく、ひび割れ率が大きくなるにつれ変化量の幅が大きくなっていくことが分かった。このことから、現在の舗装内でひび割れ率が発生している場合、次年度以降、変化量が大きくなる可能性がある。次章以降、どの時点のひび割れ率で変化量が大きくなる可能性があるか記載する。

4. 信頼度を考慮した劣化予測モデルの作成

母数データが作成された後、劣化に起因する要素毎にひび割れ率 1%毎の劣化量を抽出した。具体的には最新のひび割れ率が、経年数を考慮した 1 年前のひび割れ率からどのように変化しているかまとめ、1%のひび割れ率毎の平均値及び標準偏差を算出した。最もデータが多いのは 0%から 1%の間のデータであり、ひび割れ率の増加とともに対象となるデータ数が少なくなった。

図-3 スミルノフ・グラブス検定前後の前回調査と最新調査の関係（左から N5 交通・N6 交通・N7 交通）

図-4 スミルノフ・グラブス検定前後の最新調査と年間変化量の関係（左から N5 交通・N6 交通・N7 交通）

(1) 信頼度について

本稿では、設計に用いる値や将来予測に伴うリスクを勘案し設計する信頼性設計の考え方を基本としている。

設計された舗装の信頼性を舗装が設計された設計期間を通して、破壊しない確からしとし、破壊しない確率を信頼度 θ とすることとしている。本稿では、舗装のひび割れの年度進行度合が一定の閾値を超過しない確率を信頼度とし、図-5に示すように信頼度90%では10%の範囲は超過するが、90%の範囲は包含するということになる。劣化予測に信頼度の概念を取り込むことで道路管理者が管理している舗装の重要度に合わせて、信頼度を設定することが可能となる。従って、重要な路線や区間については信頼度の高い劣化予測を用いて維持管理を実施するなど、用途に合わせた使い方が可能となり、維持管理に柔軟性を持たせることができる。

$$f_k = f_m + k \cdot \sigma \quad (4)$$

ここに、 f_k ：信頼度に応じたひび割れ率、 f_m ：最新調査ひび割れ率1%毎の年平均ひび割れ変化量、 σ ：最新調査ひび割れ率1%毎の年平均ひび割れ標準偏差、 k ：信頼度に応じて表-2に示す値をとる係数である。なお、信頼度係数とは標準正規分布の場合について情報整理された確率表から設定された係数となる。図-6のように正規分布はデータによってさまざまな形状となり、標準正規分布による信頼度係数を用いて確率を算出する式が(4)となる。

図-5 信頼度の考え方と信頼度90%の概念図

図-6 N7交通における信頼度90%の考え方

表-2 信頼度に応じた係数の値

信頼度	90%	80%	70%
k	1.28	0.84	0.52

(2) 信頼度に基づいた線形近似式の作成

横軸に最新調査ひび割れ率1%毎、縦軸に1年あたりの平均ひび割れ率変化量を示し、さらに信頼度毎にプロットさせるため、信頼度70% (平均値+0.52 σ)、信頼度80% (平均値+0.84 σ)、信頼度90% (平均値+1.28 σ)のグラフを作成した(図-7~図-9)。グラフ内では最新調査ひび割れ率が増加するごとに平均ひび割れ率変化量も増加していることが分かる。また、今後道路管理者が予測を実施する際に最新のひび割れ率と交通量区分を把握している場合、次年度以降のひび割れ率の変化量を得ることが容易であることから、線形近似式で作成した。

図-7 N5交通における信頼度別線形近似式

図-8 N6交通における信頼度別線形近似式

図-9 N7交通における信頼度別線形近似式

5. 劣化進行速度

得られた線形近似式を用いて、ひび割れ率 0%から信頼度別にどのような劣化進行速度を示すのか、交通量区分別に縦軸をひび割れ率、横軸を経過年数として単年度ごとの劣化進行速度を算出した（図-10～図-12）

算出方法は図-7～図-9 に示したある時点でのひび割れ率を C_i とし、その時点から 1 年後のひび割れ増加率を ΔC_i 、1 年後のひび割れ率を C_{i+1} とすると、以下の式を用いて劣化曲線を求めている。

$$\Delta C_i = a \times C_i + b \quad (5)$$

$$C_{i+1} = C_i + \Delta C_i \quad (6)$$

図-10 信頼度 90%における交通量区分別劣化進行速度

図-11 信頼度 80%における交通量区分別劣化進行速度

図-12 信頼度 70%における交通量区分別劣化進行速度

信頼度別に示した図-10 から図-12 の交通量区分別劣化進行速度について、どの信頼度でも交通量区分が高いほど劣化進行速度も早いことが分かった。同様にひび割れの場合はひび割れ率 0%から劣化が進行し、年数を経るごとに劣化進行速度が増しており、交通量区分 N7 や N6 の場合、ひび割れ率が 20%を超えると単年度でひび割れ率が 5%以上進行することから、舗装点検要領内の診断区分Ⅱに留まる期間が短いことが分かった。

図-13 信頼度 90%における
交通量区分と実交通量区分別劣化進行速度
(実交通量区分は (実) と表記)

図-14 信頼度 80%における
交通量区分と実交通量区分別劣化進行速度
(実交通量区分は (実) と表記)

図-15 信頼度 70%における
交通量区分と実交通量区分別劣化進行速度
(実交通量区分は (実) と表記)

図-16 信頼度 90%における診断区分別生起確率（左から交通量区分 N5, N6, N7）

図-17 信頼度 90%における交通量区分別の最新調査ひび割れ率の診断区分別割合

図-13 から図-15 は前述の交通量区分と実交通量を組み合わせて、信頼度ごとに線形近似式を作成した後、劣化進行速度を算出した。グラフより、交通量区分が N6 で実交通量区分が N7 のように計画交通量より交通負荷がかかっている場合は早期に劣化が進行していることが分かった。反対に、計画交通量より交通負荷がかかっていない場合は劣化進行速度が緩やかになっている。

6. 将来予測

図-17 より、現在把握している最新調査ひび割れ率は 80%から 90%が舗装点検要領の診断区分 I に属していることが分かる。一方、診断区分 II は 10%程度、診断区分 III は 5%以下であることが分かった。

また、作成した劣化進行速度から信頼度 90%における交通量区分別の生起確率を算出した。生起確率とはある事象が全体の割合の中で発生する確率を指し、図-16 の場合、交通量区分 N5 の経過年数 11 年目において、交通量区分 N5 全体のデータ内の 40%が診断区分 III となることを示している。なお、今回はシミュレーションの条件として予測期間中に一度も修繕をしないこととしている。

その後、年数を経るにつれ、診断区分 I の生起確率は

徐々に低下し、診断区分 II を経て、診断区分 III となっている。修繕をしないという条件下でシミュレーションしているため、診断区分 III は徐々に増加している。最終的に 15 年後には診断区分 III が交通量区分 N5 で 50%以上、交通量区分 N6, N7 で 70%以上の割合となることが分かった。また、信頼度 90%において、どの交通量区分でも診断区分 II の状態は初期から微増するが、その後の状態に変化がないことから、診断区分 I から III に移行する際に、II に留まる割合と同程度の割合で診断区分 II から III に移行することが分かった。

7. まとめ

本研究では、全国の直轄国道データを用いて、標準的な舗装の劣化進行速度について網羅的に把握することを試み、信頼度別の劣化進行速度を算出することができた。結果をまとめると、以下の通りとなる。

- (1) ひび割れ率を年間変化量で 1%毎に確認した際、変化量は正規分布を形成していることが分かった。
- (2) ひび割れ率の 1%毎の年間変化量が正規分布を示していることから、スミルノフ・グラブス検定が有効であり、説明が困難な点検データの改善について外れ値として扱うことができた。
- (3) 舗装を長く使い続ける観点から、現行の舗装点検要領では診断区分 II の状態で措置をすることが望ましいとされているが、診断区分 II に留まる期間は短いことから、実際は診断区分 I の段階で措置の検討が必要。
- (4) 直轄国道データのような、詳細なデータの蓄積によって分析が可能となったことから、今後も蓄積されたデータを利活用するとともに、点検や非点検データ（交通量区分・修繕履歴等）の記録が重要であることが分かった。

以上の結果より、直轄国道データで得られた路面性状調査結果について標準的な劣化状況を確認するための抽出フローと誤差を統計的な手法を用いて処理する分析手法を確立し、舗装の劣化進行に起因していると考えられる交通量区分毎の劣化進行速度を算出することができた。しかし、現状では直轄国道データの中の事象であり、さらに交通量区分以外の要因検討も必要である。

今後は、全国の舗装の大半を占めている市町村道でも同様の劣化進行傾向を得ることができるか検証するとともに、交通量区分以外の要素でも検討する予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省：舗装点検要領，2016.
- 2) 国土交通省：社会資本整備審議会 道路分科会 道路技術小委員会配布資料，舗装点検要領の制定について，資料 3-3，2016.
- 3) 国土交通省：社会資本整備審議会 道路分科会 道路技術小委員会配布資料，これからの舗装マネジメント，資料 3-2，2016.
- 4) 公益社団法人日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，2007.
- 5) Frank E.Grubbs：Procedures for detecting outlying observations in samples, *Journal of Technometrics*, 1969.
- 6) 公益社団法人日本道路協会：舗装設計便覧，pp.19-21，2006.

(2019. 6. 13 受付)

The analysis of the asphalt pavement deterioration of national roads and the prediction of deterioration with the reliability

Tatsuro SUZUKI, Hitoshi YOSHIZAWA, Koichi INOUE
Satoshi NAKASUKA and Yasushi TAKEUCHI

This study is to analysis the deterioration of the asphalt pavement based on the inspection data of the national roads, focusing on the crack rate of the asphalt pavement at the transition process from stage II (maintenance stage) to stage III (repair stage), which were stipulated by the guideline of the pavement inspection issued at Oct. 2016. In the analysis, it was found that the deterioration progress of the crack rate for one year has statistically almost normal distribution, and we proposed a statistic method to predict the deterioration progress of the asphalt pavement. In addition, the concept of the reliability was introduced into the prediction method and the deterioration progress speed was calculated for each category of the traffic volume with the reliability. And we showed the occurrence probability of each stages on the deterioration of the asphalt pavements in the future across Japan.