

プロジェクトレベルにおける 舗装の供用性曲線適用手法について

清野 昌貴¹・岳本 秀人²・丸山 記美雄³・遠藤 桂⁴

¹正会員 独立行政法人北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

²正会員 独立行政法人北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

³正会員 独立行政法人北海道開発土木研究所 (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1-34)

⁴正会員 博(工) 財団法人道路保全技術センター (〒112-0004 東京都文京区後楽2-3-21)

舗装のライフサイクルコスト(以下LCCとする)の算出の信頼性向上のためには、精度の高い供用性曲線を求めることが必要である。しかし、従来用いられてきた供用性曲線作成手法は、大きなバラツキがある広域的なデータから代表的な路面劣化傾向を求めており、ネットワークレベルにおける検討には有効であるが、プロジェクトレベル(個々の現場)における劣化傾向と合致しないことが多く見受けられる。そこで本研究では、プロジェクトレベルにおける劣化傾向を反映し、バラツキの分布形状を取り入れた供用性曲線の作成手法を検討した。

Key Words : Life-cycle cost, Pavement Management System, Project level, Performance Curve

1. はじめに

舗装マネジメントシステムのひとつの要点は、システムユーザーにとって意思決定のために有効な資料を提供することであり、その役割は、舗装に関する費用と効果を管理者、利用者、環境の立場から考えて、効果的・効率的に「いつ・どこを・どのように」管理運用するかという問題を解決することである。PMSにおいては複数の計画案について、LCCを比較検討することによって最適な解を導く。算定されるLCCは、舗装の劣化傾向や補修目標値に大きく影響を受けることから、LCCの算出の信頼性向上のためには、精度の高い供用性曲線を求めることが必要である。

しかし、従来用いられてきた供用性曲線作成手法は、大きなバラツキがある広域的なデータから代表的な路面劣化傾向を求めており、ネットワークレベルにおける検討には有効であるが、プロジェクトレベル(個々の現場)における劣化傾向と合致しないことが多く見受けられる(図-1)。

そこで本研究では、ネットワークレベルで求められる供用性曲線作成過程における情報を最大限活用し、バラツキの分布形状を考慮した供用性曲線の適用手法を検討した。また、プロジェクトレベルの劣化傾向を認識させ

て、個別現場にあった供用性曲線の選定を可能とする方法を検討した。

2. 供用性曲線作成の基本条件

(1) 作成データ

作成に用いるデータは道央・道南地域で計測したものとし、路面性状特性値は、MCIの計算に用いられるひび割れ率・わだち掘れ量・平坦性とした。

また、補修工法の違い及び舗装構成により舗装劣化速度も異なると考えられるため、設定する供用性曲線は、工法別、舗装計画交通量別とした。なお、今回は、1,000台以上3,000台未満、3,000台以上の区分のみの供用性曲

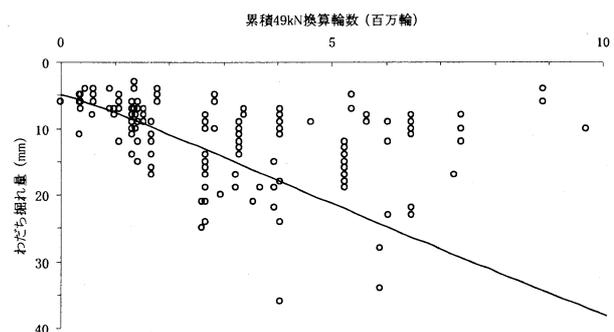


図-1 現地データのバラツキ状況

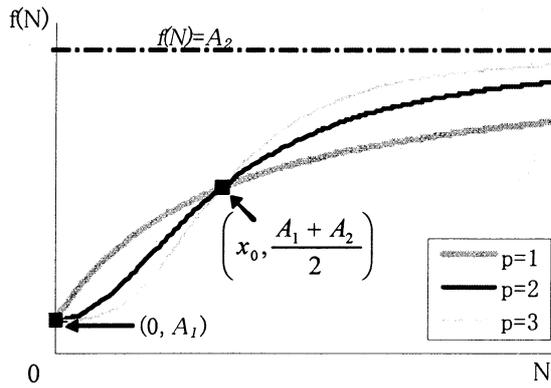


図-2 ロジスティック曲線の性状

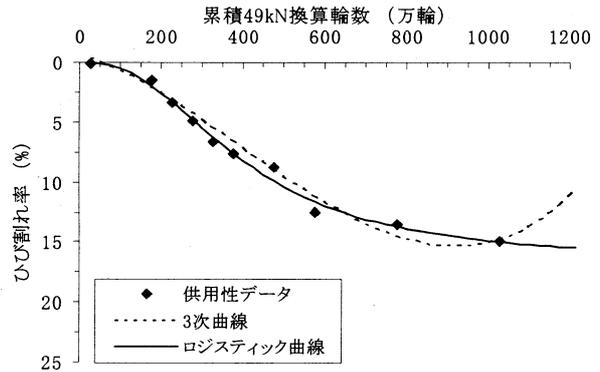


図-3 関数形の違いによる供用性曲線の近似結果例

線を作成している。

(2) 作成手法と基本関数

谷口らの論文¹⁾によると、舗装の供用性曲線は、交通量及び工法毎に分類された路面性状特性値を、累積49kN換算輪数の階級(例えば、0～50万輪をひとつの階級とする)毎に整理したデータから作成している。データの分布形状は非対称であり、概ね対数正規分布となる。そして各階級の最頻値から1本の供用性曲線を作成する。本検討における基本的な供用性曲線作成手法はこれに準じている。

ひび割れ率やわだち掘れといった路面性状特性値は、経年変化とともに増加する性質を持っている。多量のデータをひとつの近似曲線とする場合には、様々な関数形が考えられるが、関数形とデータ群によっては近似結果が単調増加にならないような場合があった。そこで、単調増加の性格を適切に表現できる関数形としてロジスティック曲線に着目した。ロジスティック曲線は、人口増加過程や産業の成長・発展・衰退を近似する際に使われる関数である。また、一般的なロジスティック曲線は、最大値と最小値に漸近し、(最大値+最小値)/2の点で変曲点を持つS字曲線であるが、舗装の供用性曲線は多様な形状となるため、これに柔軟に対応する関数形を採用した。その基本形を(1)に示す。

$$f(N) = A_2 + \frac{A_1 - A_2}{1 + \left(\frac{N}{x_0}\right)^p} \quad (1)$$

ここに、 N ：累積49kN換算輪数、 $f(N)$ ：路面性状特性値、 A_1 ： $f(0)$ 、 A_2 ： $f(N)$ の最大値、 x_0 ：曲線の変曲点を与える N 値、 p ：曲線の傾きを決定する定数

である。例えば、 $A_1=0.1, A_2=0.9, x_0=0.5$ のとき、 $p=1, 2, 3$ に対して $f(N)$ は、図-2のように変化する。

参考文献¹⁾で採用している3次関数とロジスティック曲線による近似結果例を図-3に示す。供用性曲線の作成過程において、必ずしも累積49kN換算輪数の全階級にデータが存在する訳ではないことから、3次関数の場合は、途中で路面性状特性値が減少に転じるような事例が見られることがあるが、ロジスティック曲線はデータ群に近似しながら、かつ単調増加の性格を適切に表現している。

3. バラツキ範囲を考慮した供用性曲線の適用

前述したとおり、同一交通量、同一工法であっても、舗装の供用性にはバラツキがあるために、プロジェクトレベルにおいては広範囲なデータから作成したひとつの供用性曲線の劣化傾向と合致しない場合がある。そこで、2章で説明した供用性曲線作成手法をさらに発展させ、データのバラツキを取り込み、様々な劣化傾向を表現するため、バラツキ範囲を考慮した幅のある供用性曲線の適用を試みた。作成フローを図-4に示す。

個々の現場の路面性状特性値の履歴は、決してランダムに変化する訳ではなく、例えば、平均的な劣化を表す1本の供用性曲線に対して早めの劣化傾向を示したり、逆に遅めの劣化傾向を示したりというように、現場毎の特徴がある。こうした現場毎の特徴を供用性曲線に反映させることは、舗装を管理する上で非常に大切である。

本検討では、まず、このような現場毎の劣化傾向を、全データ分布の累積確率として定量化し、累積確率15、30、50、70、85の各パーセンタイル値を求め、平均的な供用性曲線からの差(シフト量)として表現することとした(図-5)。これらのパーセンタイル値は、対数正規分布するデータ群のバラツキ全体をほぼ示すことができること、グラフ化したときに各パーセンタイル値による曲線の間隔が適度に開いていることなどを勘案して決定した。なお、平均的な供用性曲線は、図-5における最頻値(ひび割れ率の時約10パーセンタイル値、わだち掘

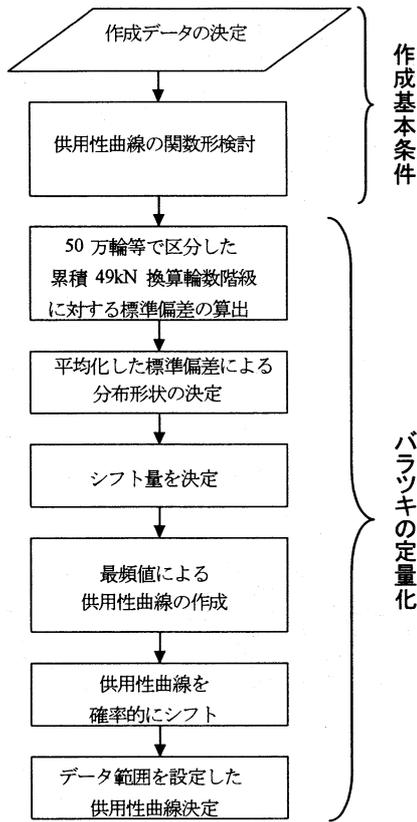


図-4 作成フロー

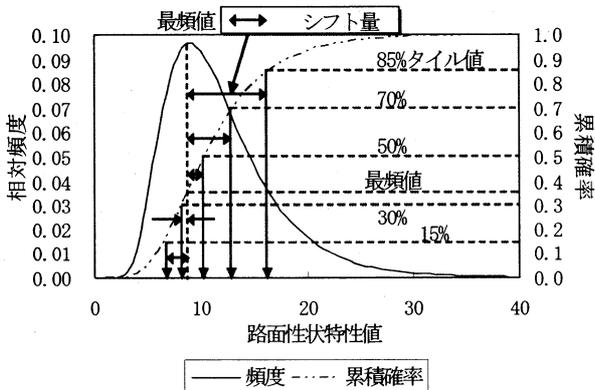


図-5 累積確率とシフト量の関係

れ量と平坦性のとき約30数パーセントイル値)を49kN換算輪数各階級で求めて作成する曲線である。図-5に示す頻度曲線(実線)形状は(2)によって求められる。

$$f(N) = \frac{1}{\sigma N \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{(\ln N - \mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (2)$$

ここに、 N : 累積49kN換算輪数、 $f(N)$: 路面性状特性値、 μ : $f(N)$ の平均値、 σ : $f(N)$ の標準偏差

である。

工事直後の供用初期段階では、データのバラツキが小さく、次第にバラツキが大きくなっていくと考えていた

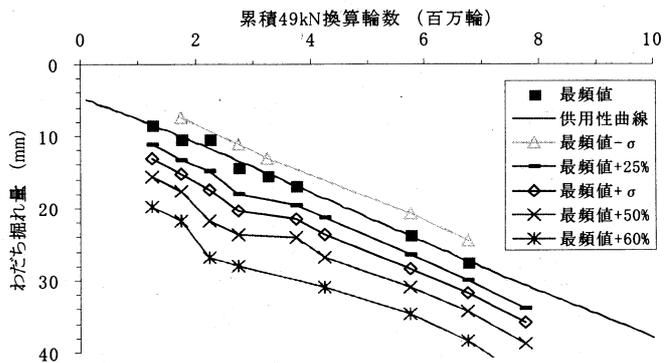


図-6 各階級におけるバラツキ分布

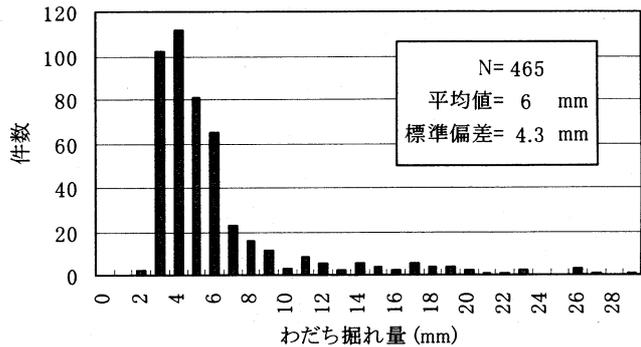


図-7 供用後1ヶ月目の路面性状調査結果

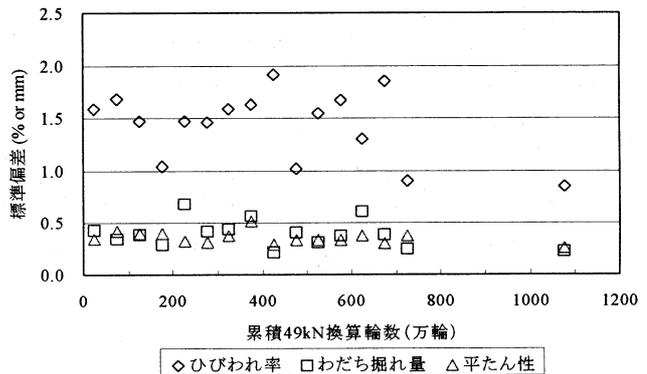


図-8 標準偏差の分布
(3,000台以上・オーバーレイ類)

ため、累積49kN換算輪数階級が大きくなるほどシフト量も大きくなると予想していた。そのため、確率分布形状を決定する際に必要となる平均値と標準偏差は、累積49kN換算輪数各階級毎のものを使用し、シフト量を変化させていく手法を考えていた。しかし、図-6に示したとおり、各階級におけるバラツキに差は見られなかったこと、また、供用初期段階においても、図-7のように分布には幅があること、さらに図-8に累積49kN換算輪数の各階級に含まれる路面性状特性値の標準偏差を示したように、予想していたようなバラツキの特徴は見られなかったことから、階級毎の標準偏差・平均値を用いるのではなく、各階級標準偏差・平均値の平均を代表として用いることとした。

供用性曲線(群)の作成手順を整理すると、すでに図-

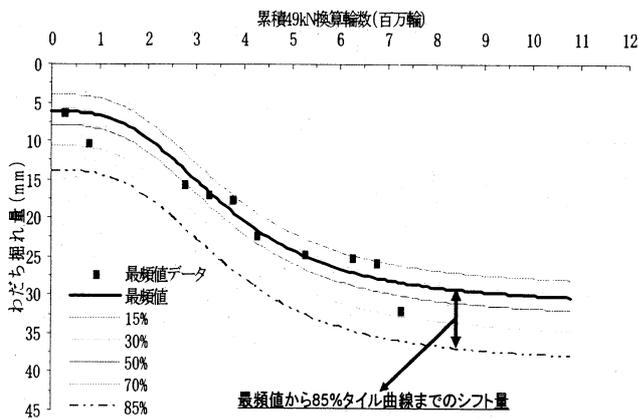


図-9 わだち掘れ量の供用性曲線
(3,000台以上・オーバーレイ類)

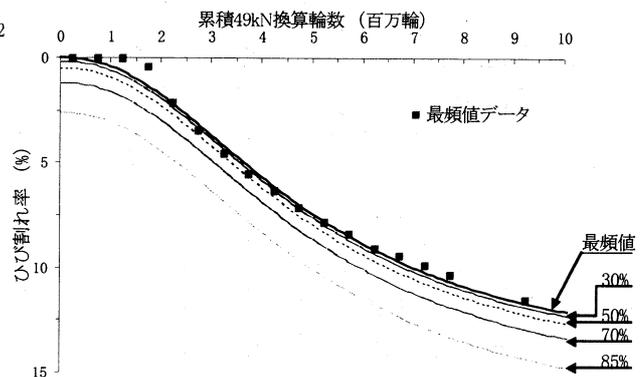


図-10 ひび割れ率の供用性曲線例

表-1 各区分の種類

舗装計画交通量 区分(1,000以上 3,000未満、3,000 以上)	2分類	工種区分(切削オー バーレイ類、オー バーレイ類、新設及 び打換え、新設の み、打換えのみ、表 面処理)	6分類
路面性状特性値 区分(ひび割れ 率、わだち掘れ 量、平たん性)	3分類	累積確率区分(最頻 値、累積確率15%、 30%、50%、70%、85%)	6分類

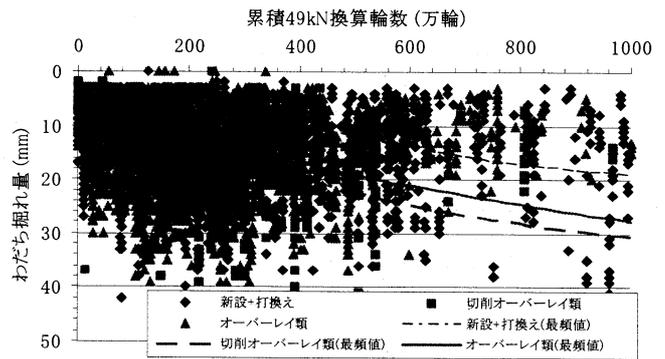


図-11 工種別データ分布と最頻値曲線
(1,000台以上3,000台未満)

4に示したように、まずデータ母体を累積49kN換算輪数の階級毎に、最頻値、標準偏差、平均値を計算する。つづいて、各階級の標準偏差、平均値の平均を求めて(2)に代入し、図-5に示す分布形状を決定、累積確率から各パーセンタイル値までのシフト量を決定しておく。累積49kN換算輪数各階級の最頻値から1本の供用性曲線を作成し、先に求めたシフト量をシフトする。という流れになる。

図-9は設定した供用性曲線(群)の一例である。最頻値に対する各パーセンタイル値のシフト量を用い、最頻値より算出した供用性曲線をy軸方向にシフトしたものが求める累積確率に対する供用性曲線となっている。シフトした供用性曲線の近似式は、最頻値より算出した供用性曲線の定数項にシフト値を加算することで算出することが出来る。

このようにして、データの最頻値による標準供用性曲線と、データのバラツキを表現するための曲線群を定めることができた。

4. 最適な供用性曲線の選定

(1) 最適な供用性曲線の選定手法

舗装補修を行おうとする区間における現場観測データに対し、作成した供用性曲線群の中から最もフィットする曲線の選定手法を検討した。ここでは、一般的な最小二乗法を用いることとした。

また、先に述べたとおり、供用性曲線は、路面性状特性値区分、工種区分、舗装計画交通量区分それぞれのものを作成している。この3区分に加え、今回検討した各累積確率区分が加わる。表-1に示すとおり、舗装計画交通量区分は2分類、路面性状特性値区分は3分類、工種区分は6分類、そして累積確率区分は6通りとなるため、全部で216通りの供用性曲線を求めたことになる。このうち、舗装計画交通量区分1,000台以上3,000台未満、路面性状特性値区分はひび割れ率、工種区分はオーバーレイ類、累積確率区分は全種を表した供用性曲線の一例を図-10に示す。

最適な供用性曲線を選択する検索範囲は、216通りの供用性曲線全てからではなく、絞り込むこととした。まず、現場観測データが、例えばわだち掘れ量の場合、ひび割れのデータから作成した供用性曲線を選択する必要性はないため、路面性状特性値については、当然ながら現場観測データの特性値区分内で選択することとした。また、舗装計画交通量区分についても区分内で選択することとした。

しかしながら、工種区分については、図-11に示すように、少なくとも本研究で使用したデータを見る限り、累積49kN換算輪数と各路面性状特性値の関係について、平均的な劣化傾向(最頻値の供用性曲線)に差は出てくるものの、その区分に該当する全データが完全に工種によって分かれるものではないこと(路面性状特性値が、

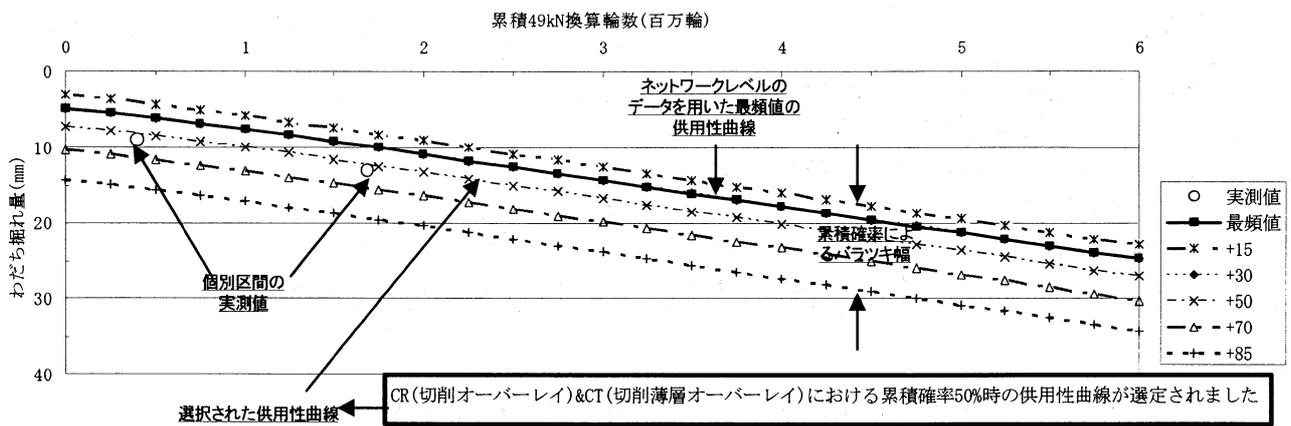


図-12 わだち掘れ量の最適な供用性曲線選定例

工種などに対して必ずしも独立でないこと)がわかった。

この結果は、任意路線の供用性について、路面性状特性値が工種のみならず、交通量区分、地域区分などに対しても大きく、かつ、複雑に影響を受けていることの一つの事例として捉えられる。

したがって、工種による平均的な供用性の変化について把握することについては、重要な意味はもちろん認められるが、実際にデータのバラツキがある以上、舗装の供用性の把握において、工種による制限を加えることは合理的意味を見いだせないと考えられる。

そこで、最適な供用性曲線を選択する検索範囲としては、工種区分(6分類)および累積確率による区分(6分類)の組み合わせ計36通りとし、この中から現場の舗装の劣化傾向に最も適した供用性曲線を検索することとした。

今回検討した手法を用いることで、表-1の分類に限定されず、特徴的劣化傾向情報(例えば、表層合材別など)で整理した供用性データから、データ群のバラツキを考慮した供用性曲線を求めることができる。情報を増やすことで選択肢が増え、更に精度向上を図ることが出来ると考えられる。

(2) 最適な供用性曲線の選定ソフトウェアの開発

上記方法を簡便に実行するためのソフトウェアを開発した。このアプリケーションは、市販の表計算ソフトの機能を利用したもので、求めた供用性曲線およびデータ範囲に対して、現場観測データを1点以上与えた場合に、最も適合している供用性曲線を選択することができるようになっている。

北海道開発局では、毎年管理路線のおよそ1/3ずつ路面性状調査を実施している。したがって、同一区間の路面性状特性値データは、3年おきに収録されることになる。平成16年度に更新した北海道の直轄国道における舗装データベースによると、平均供用年数は12.8年である。供用年数が15年以上の区間もあれば、10年未満の区間も

相当数存在する。仮に当該舗装の補修間隔(供用年数)が10年の場合、その間の路面性状特性値の履歴データ数は、せいぜい3点、供用年数が8年ならデータ数は2点となるように、データ件数の少ない区間についても、舗装の供用性を把握しなければならない事例は少なからず存在する。

道路管理者には、このような状況下でも、舗装の将来の供用状態を予測しながら、計画的かつ適切な管理を行っていくことが求められており、供用性の予測が重要な意味を持っている。

統計的には、同一区間に対して多数のデータがあれば、供用性予測精度は高くなるものと考えられるが、本研究での供用性曲線の選定ソフトウェアとして、上記のような条件に十分配慮し、現場観測データが少数の場合でも対応できるように考慮する必要があると考え、最低でも1点のデータで予測できるような仕様とした。

図-12はわだち掘れ量の最適な供用性曲線選定例である。この例では、現場実測値を入力した結果、最も実測値に近い供用性曲線は、同一舗装設計交通量区分、同一路面性状特性値で作成した36通りの曲線のうち、補修工法が切削オーバーレイ類の累積確率50%の曲線ということになる。

このようにして、データ群全体の劣化傾向をおおむね押さえつつも、現場個別の事情に即した適切な供用性曲線を簡単に求めることができる。

5. まとめ

(1) プロジェクトレベルにおける劣化傾向を反映させ意思決定を確実なものとするため、道央・道南での実測路面性状特性データからバラツキ範囲を考慮した216通りの供用性曲線を作成した。

(2) その中から、最小二乗法を用いて、現場データにフィットする供用性曲線の選定を可能とした。

(3) 現場観測データを与えた場合に適合した供用性曲線を自動的に選択するソフトウェアを作成した。

6. おわりに

データのバラツキ範囲を考慮することで各プロジェクト箇所に応じた供用性曲線を選定でき、各プロジェクトにおける舗装供用性のよりの確な判断が可能となる。これを用いてLCCの算出を行い、代替案の比較を行うことで、より効率的・効果的で信頼性の高い維持管理計画の策定が期待できるものとなる。今後は、作成した供用性

曲線選定手法を用いて、個別区間のLCC算出比較を行い、ツールとしての実用性、妥当性の検証を行っていきたい。

参考文献

- 1) 谷口聡, 伊藤正秀, 野村敏明, 阿部忠行 : 舗装データベースを用いた供用性曲線作成手法に関する研究, 舗装工学論文集 第8巻, pp.99-106, 2003.12.

STUDY ON PROJECT-LEVEL CALCULATION OF PAVEMENT PERFORMANCE CURVE

Masaki SEINO, Hideto TAKEMOTO, Kimio MARUYAMA and Katsura ENDO

To improve the reliability of pavement life-cycle cost (LCC) calculations, accurate performance curves are necessary. Conventional calculation methods obtain the typical deterioration trends of the road surface from regional data that are widely dispersed. While such methods may be effective for network-level examination, they are not effective for project-level examination. The network-level deterioration trends often differ from the project-level deterioration trends (i.e., the trends at each site). We studied a method of calculating performance curves that considers project-level deterioration trends and dispersion patterns.