

舗装の維持管理システムに関する研究 第三回

阿部 頼 政*

1. まえがき

前回までに述べてきた主な項目は次のとおりである。

- (1)システムとは何か
- (2)舗装の維持管理システムの必要性
- (3)システムの目的設定の重要性
- (4)システム設計に考慮すべき要因

以上の問題は、システム設計のいわば“ソフト”の部分に相当し、対象とする舗装を技術的に評価する“ハード”の部分があって初めて意味をもつものである。

今回は、舗装の履歴（過去、現在、未来）のとりえ方について考察し、あわせて独自の供用性評価法を考えている東京都の研究例を紹介する。

2. 舗装台帳の整理（過去）

わが国の人口は現在約一億二千万人で、すべて戸籍に登録されている。必要があれば、誰が、いつ、どこで、誰の子として生まれたかすぐ調べることができる。それぞれが住む家屋、土地も同様である。

舗装の場合は、国、都道府県、市町村が分担して管理しているが、機関によっては必ずしも舗装の歴史を把握していないようである。子供が非行に走って初めて対策を考える親と同様に、修繕の時期がきてからその舗装の経緯を調査するケースが多いものと思われる。極端な場合、昭和何年に建設されたか、舗装構造がどうなっているかも不明のことがあると聞く。

維持管理システムの設計にあたっては、舗装の過去、現在のデータと将来の予測値が必要であるが、その中でも舗装の誕生を意味する建設当時のデータは、まず最初に整理しておくべきものであろう。システムの目的によって必要とする内容は異なるが、いかなるシステムにしろ一般に次のようなデータが不可欠と思われる。

- ①建設年・月
- ②大型車交通量
- ③路床土のCBR

④T_Aと舗装構造（材料を含む）

建設後、現在に至るまでのデータに関しては次のようなものが望まれる。

- ①大型車交通量の推移
- ②路面損傷度の推移
- ③維持修繕の履歴とその方法

このうち、①と②については、過去のデータがなければ、現在のデータから類推することもある程度可能であろう。

以上に挙げた項目は、特に測定が必要なものではなく、資料収集によって整理できるものである（現実には大変な作業になるかも知れないが……）。システムを考えるならば、まず最初にとりかかるべき課題であろう。正体不明の対象を相手にシステムを設計することは不可能に近いからである。

3. 舗装の現況調査（現在）

維持修繕の要否を判断するには、舗装の現況調査が必要である。一般には、パトロールなどの目視観察をもとに維持修繕の候補区間を選定し、機械・器具による詳細測定を行なって最終決定をすることになる。測定項目には、ポットホール、段差、すべり抵抗なども含まれるが、AASHO道路試験¹⁾、道路維持修繕要綱²⁾の影響もあり、ひびわれ、わだち掘れ、縦断方向の凹凸の測定が中心となっている。従来、これらの測定は人力に頼ってきており、長距離の測定は無理があったが、最近ではエレクトロニクス利用の高速測定機が開発され、実用化されている³⁾。道路管理者にとっては大いに役立つ武器となる。

路面調査は、予算の許す限りできるだけ頻繁に行なうとよい。破損の経時変化をとらえたいからである。データ量が膨大になるからコンピュータを利用した方が便利であろう。建設省では大型のデータバンクを開発中⁴⁾であるが、一般には性能のよいパーソナルコンピュータで

* あべ よりまさ 日本大学理工学部助教授

十分と思われる。

4. 破損の将来予測（未来）

維持管理システムでは、長期的な展望にたって計画をたてるため、対象とする舗装の破損がどのように進行するかを予測することが必要となる。これまでアスファルト舗装は10年、簡易舗装は4～5年の寿命を目的に設計を行ってきたが、この数値は舗装のおかれた環境、維持の程度などにより大きく変るものである。また、システムでは予防的な修繕という考え方が基本にあるため、破損の予測はきわめて重要な課題となっている。

しかしながら、あらゆるケースに適用できる予測法というのはまだ開発されていない。今後も数十年間は無理であろうと思われる。考慮すべき因子が多く、研究も断片的にならざるを得ない状況にあるからである。また、このような万能薬を期待しなくとも、他に方法はある。

舗装は経験工学の域を出ていないとよく言われるが、これにはかなりの真実が含まれていると思われる。すなわち、技術者一人一人の経験が教科書となり参考書となるわけである。破損の予測には、この技術者の経験を数量化する方法も有力である。長年、同一地域をパトロールしている技術者は、どの舗装がいつ頃限界に達するかほぼ推定がつくにちがいない。数人、数十人の経験が集まって結論が出れば、それは一つの貴重な予測値となる。

一方、同一区間の路面性状を3年間調査してあれば、4年目にどうなるかはかなりの精度で予測できよう。4年目も測定すれば、5年目の精度はさらによくなる。このようにして、いくつかの代表区間のデータが得られれば担当路線全体の概要も推定できよう。前に述べた経験と実測データの比較検討があれば信頼度はさらに高まる。

以上に述べた方法は、非学問的で、長い年月と地道な努力を必要とするが、すぐに着手できること、年々確実に研究が進展することなどの特徴がある。遠まわりのように見えるが、最短距離となる可能性が強い。10年前に誰かが始めていれば今頃は……。

5. 舗装技術に関する研究の必要性

アスファルト舗装技術研究グループの研究報告でもたびたび紹介したように、海外で発表された舗装管理システムはきわめて多くの数にのぼる。しかし、そのうちのいずれをとってみてもわが国にそのまま適用できるものはない。同様のことは、国内に限ってみてもあてはまる。すなわち、東北で開発されたシステムを関西に適用することは無理であるし、国道を対象としたシステムが市町

村道にそのまま適用できるとは思えない。要するに、他機関で開発されたシステムは、その考え方、手法などを参考にすることはできるが、自分のところは自分で作成しなければ効果的なシステムとはならないということである。これは、予算、気象条件、交通条件、地域住民の要望など、各種の変数を考慮すれば当然の結論であろう。

各機関が独自にそのシステムを作成するには、相応の調査研究が必要とされる。従来、ともすれば研究は学者、研究者の担当のように見られてきたが、維持管理システムの設計にあたっては道路管理者の研究的な姿勢が特に重要となる、と言っても、数式の計算やコンピュータのプログラムなどを勉強することではない。それに類したことは専門家にまかせておけばよいのであって、道路管理者の役割は次の2項目に焦点が絞られよう。

①維持管理方針の策定

②当該道路の特徴の把握

以上のうち、①は前回に述べたシステムの目的設定に係わる課題であり、将来のために深く掘りさげて検討する必要がある。

②は、前章までに述べてきたハードの部分であり、現場担当者の経験的な知識、破損の特徴と推移、維持修繕の効果などを数量化してとらえることである。それには、長期間の地道な研究が必要であり、官だけではなく、民、学の協力が効果を発揮しよう。

次章において、当該道路の特徴を把握し、独自の供用性評価式を検討した例を紹介する。なお、これは、東京都と筆者が共同で行なった研究の一端である⁵⁾。

6. 重交通街路舗装の供用性評価

東京都の主要道路はすべて舗装済であり、新設よりも維持修繕が中心となってからすでに十数年経過する。この間、交通量の増加にともなって舗装の破損は年々進行の度合いを早めてきているが、特に交通量が多くかつ大型車混入率の高い幹線道路（以下、重交通街路と称する）ではこの傾向が顕著である。

舗装の維持修繕は「東京都道路工事設計基準」⁶⁾に従って行なわれているが、維持修繕の判断基準は道路維持修繕要綱に準拠しており、PSIによる路面の総合評価で客観的に定量化しようとしてきた。しかし、実際にはひびわれとわだち掘れの簡単な測定から、技術者の経験を加味した判断により維持修繕の要否を決定する場合が少なくない。

これは、平坦性の測定に手間がかかること、重交通街路では平坦性にあまり問題がないと経験的に判断できる

こと、PSIの計算式が複雑なため測定しながらの判断は困難なことなどの理由による。

本研究は、以上のような現実を考慮して、ひびわれとわだち掘れの2変数により簡単に表示できる新しい供用性指数を提案し、その妥当性を実測値によって検討しようとするものである。

6.1 維持修繕の判断基準

アスファルト舗装の路面状態から維持修繕の要否を判断する方法は、次の2種類に大別できる。

- ① 路面性状を総合的に評価するPSI, MCIなどの供用性指数により判断する方法
- ② わだち掘れ, ひびわれなど単独の破損の許容限度により判断する方法

本節では、以下の解析の準備として上記の方法を簡単に一覧する。

(1) 供用性指数PSI

AASHO道路試験において供用性指数PSI (Present Serviceability Index) が発表されて以来、各種の機関によって類似の指数が数多く提案されてきたが、わが国の道路維持修繕要綱では次の式を採用している。

$$PSI = 4.53 - 0.518 \log \sigma - 0.371 \sqrt{CR} - 0.00174RD^2 \quad \dots\dots(1)$$

- ここに PSI : 供用性指数
- σ : 縦断方向の凹凸の標準偏差 (mm)
- CR : ひびわれ率 (%)
- RD : わだち掘れ深さの平均 (mm)

このPSIによる維持修繕の判断基準は図-1のとおりである。

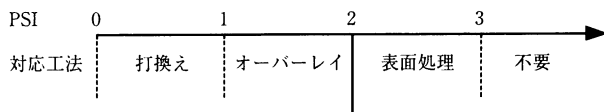


図-1 PSIによる判断基準

(2) 供用性指数MCI

MCI (Maintenance Control Index) は、建設省土木研究所の提案⁷⁾によるもので、PSIと同様に σ , CR, RDの3変数をもとにした次の式によって求められる。

$$MCI = 10 - 0.47 \sigma^{0.2} - 1.48CR^{0.3} - 0.29RD^{0.7} \quad \dots\dots(2)$$

また、2変数表示, 1変数表示として次の式も同時に提案されている。

$$MCI_0 = 10 - 1.51CR^{0.3} - 0.3RD^{0.7} \quad \dots\dots(3)$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23CR^{0.3} \quad \dots\dots(4)$$

$$MCI_2 = 10 - 0.54RD^{0.7} \quad \dots\dots(5)$$

維持修繕の判断基準は、暫定的なものとして、MCI₀, MCI₁, MCI₂のうちいずれかが4.0になった場合とされている。

(3) 単独の破損による判断

破損の種類とその大きさによっては、PSI, MCIなど路面を総合的に評価する指数の値に無関係に維持修繕を必要とすることがある。このように、単独の破損が卓越した場合について、道路維持修繕要綱では、道路の種類ごとに維持修繕要否判断の目標値を示している(表-1)。すなわち、それぞれの破損が表-1の許容限度を超えれば、他の路面性状にかかわらず維持修繕が必要となる。これは、PSI, MCIなどの3変数表示に対比し

表-1 維持修繕要否判断の目標値²⁾

項目 道路の種類	わだち掘れおよびラベリング (mm)	段差 (mm)		すべり 摩擦係数	縦断方向の凹凸 (mm)	ひびわれ率 (%)	ポットホール径 (mm)
		橋	管渠				
自動車専用道路	25	20	30	0.25	8 m プロフィール 90 (PrI) 3 m プロフィール 3.5 (σ)	20	20
交通量の多い一般道路	30~40	30	40	0.25	3 m プロフィール 4.0~5.0 (σ)	30~40	20
交通量の少ない一般道路	40	30	—	—	—	40~50	20

て1変数表示と言えよう。

以上に述べてきた維持修繕の判断基準をまとめると、まず単独の破損の目標値で維持修繕の要否を判断し、不必要の場合はさらにPSI, MCIなどの総合評価で判断することになる。

6.2 供用性指数CRDの考え方

東京都の重交通街路における維持修繕の原因は、わだち掘れとひびわれによるものが90%以上を占めている。縦断方向の凹凸や他の破損によるものはきわめて少ない⁸⁾。したがって、重交通街路舗装の評価は、わだち掘れとひびわれの2変数表示が現実的と言えよう。本節では、1変数表示, 3変数表示それぞれの特徴を加味して作成した2変数表示の基本的な考え方を述べる。

(1) ひびわれとわだち掘れの表示法

単独の破損のうち、ひびわれとわだち掘れについて表-1を見ると、これらの目標値はCR = 20~50, R

D = 25~40と、道路の種類によってかなりの差がある。しかし、自動車専用道路を除いて考えると、PSI=2.0のオーバーレイ必要時期に対応するCRとRDの基準値は、それぞれ40%、40mm程度であることが表-1より読みとれる。さわめて大まかな推定ではあるが、図-2のようにこれらの限界を定めて考察を進める。

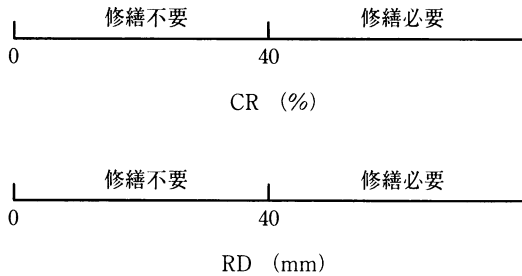


図-2 修繕の判断基準

以上は1変数の場合の基準であるが、いま、図-2のひびわれ率とわだち掘れ量をそれぞれ縦軸、横軸にとって2次的に示すと図-3が得られる。この図で、修繕の要不要領域は、1変数表示の基準をそのまま採用している。そのため、ひびわれとわだち掘れを両方考慮すれば修繕が必要となる部分も修繕不要の領域に入ってしまう

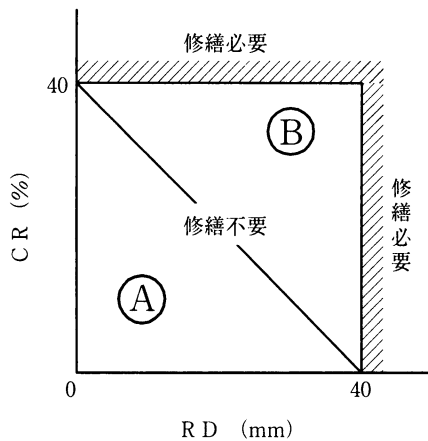


図-3 CRとRDの表示

っている。たとえば、ひびわれ率(%)とわだち掘れ量(mm)の総合評価に対するウエイトを等しくとれば、対角線で区分されたA、B領域のうち、B領域は修繕必要となる。なお、本研究はこの対角線を中心に研究を進めるものである。

(2) PSIとMCIの変化

東京都の重交通街路舗装における縦断方向の凹凸の標準偏差 σ は、従来の測定結果から一般に2.5mm程度と判

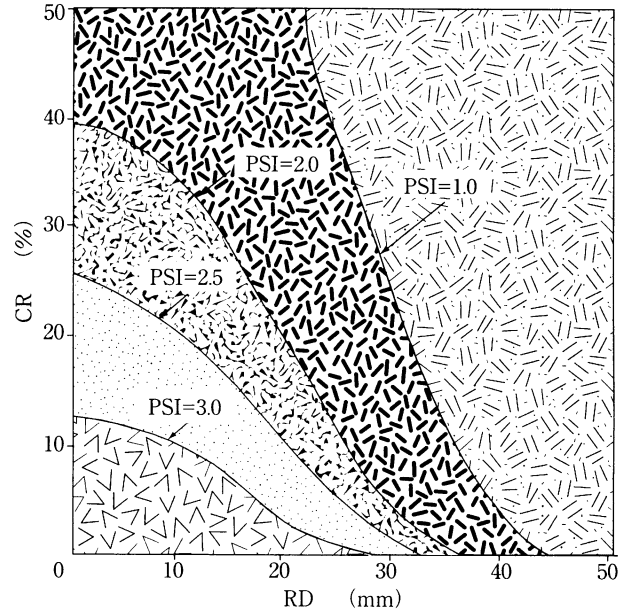


図-4 PSIの変化

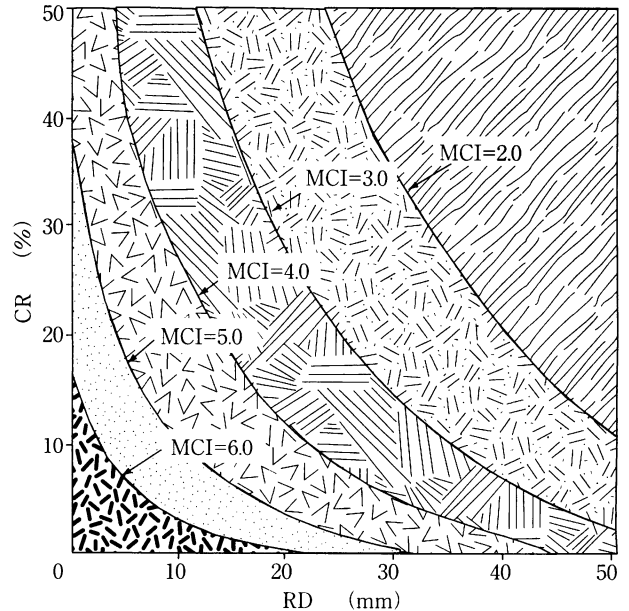


図-5 MCIの変化

断できる。 σ をこの値に固定し、クラック率0~50%、わだち掘れ量0~50mmをそれぞれ50等分し、両者のすべての組合せ、すなわち2500の場合につきPSIとMCIを計算した。結果は、PSIとMCIの大ききで分類し、それぞれ図-4、図-5に示す。

図で、PSIの等しい値を結んだ線(図の境界線)は上に凸、MCIのそれは下に凸という差はあるが、両者とも図-3のA領域、B領域を区分するような傾向にあると言えよう。

(3) 簡易な供用性指数の提案

前節までに考察してきた1変数表示、3変数表示による維持修繕判断の限界値を簡単にまとめると次のように

なる。

① 1変数表示：ひびわれ率40%，わだち掘れ量40mm

② PSI : 2.0

③ MCI : MCI_0 , MCI_1 , MCI_2 のいずれかが4.0

③に対応するCR, RDを計算で求め、①, ②, ③を同一座標に示すと図-6のようになる。曲線の動きはある

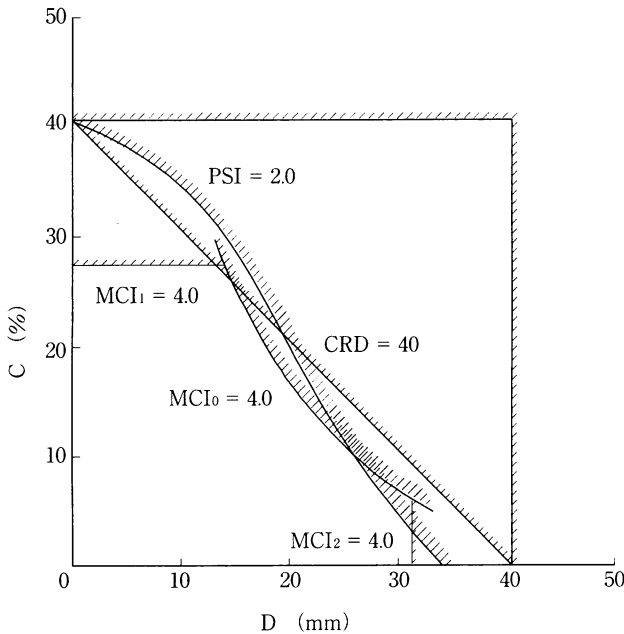


図-6 PSI, MCI, CRDの比較

ものの、②, ③は①の対角線にほぼ近いと見ることができよう。すなわち、1変数表示と3変数表示による限界値は決してかけ離れたものではなく、対角線を媒介とすればほぼ同一の基準を別々の角度から表現しているものと言える。

このように、対角線が意味を持つ背景には、ひびわれ率、わだち掘れ量それぞれの単位は異なるものの同程度の数値であり、また、路面の総合評価に対する両者のウェイトがほぼ等しいと見なされているためと推定できよう。

本節では、維持修繕判断の限界値を中心に考察を進めてきたが、対角線の利用は限界値だけではなく、ひびわれとわだち掘れの2変数による路面評価法として応用できる可能性がある。そこで、供用性指数として次の式によるCRDを定義し、次章において実測値からその妥当性を検討する。

$$CRD = CR + RD \quad \dots\dots\dots(6)$$

なお、図-6の対角線はCRD=40の線である。

6.3 CRDの妥当性に関する検討

東京都土木技術研究所では、昭和52年以来、環状7号線を中心に重交通街路舗装の供用性調査を行なってきた

いる。この調査結果をもとに。本章では供用性指数CRDの妥当性をPSIと対比させて検討する。

(1) 縦断凹凸量の影響

CRDは2変数表示であり、縦断方向の凹凸量の標準偏差 σ の影響をとり入れていない。したがって、現実の重交通街路舗装における σ の変動が大きければ、CRDとPSIの関係は不明確になり、ひいてはCRDの妥当性が疑問となる。そこで実態調査の結果から、(1)式に含まれている $0.518\log\sigma$ の大きさを検討してみた。

図-7は、横軸に $0.518\log\sigma$ の範囲をとり、縦断にその度数(%)をとって示したものである。 $0.518\log\sigma$ の値は、平均値で0.24であり、全体の95%以上が0.15~0.35

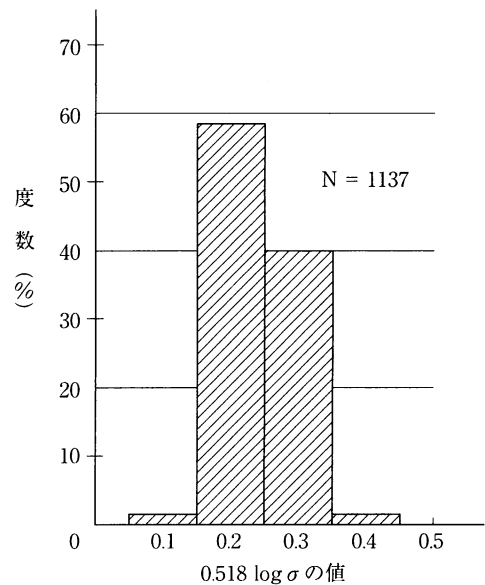


図-7 σ の影響

の範囲に入る。これは、重交通街路舗装においては、PSIに対する σ の影響がほぼ定数として処理できることを意味するとともに、CRDのような2変数表示の妥当性を示すものであろう。なお、MCIの(2)式に含まれる $0.47\sigma^{0.2}$ の平均値は0.58であった。

(2) 実測値からみたPSIの変化

図-4では、 σ を一定にしてPSIの変化を示したが、実測のCR, RD, σ をもとに(1)式から計算したPSIの値の範囲を示すと図-8~図-10のようになる。すなわち、図-8では全測点のうちPSI \leq 3.0となる点を、図-9, 図-10ではそれぞれPSI \leq 2.5, PSI \leq 2.0となる点をプロットしてある。図の対角線から明らかのように、PSI=3.0, 2.5, 2.0の限界は、それぞれ、CRD=20, 30, 40の線にほぼ一致している。これは重交通街路舗装の維持修繕要否を判断する場合、CRDがPSIとほぼ同程度に路面

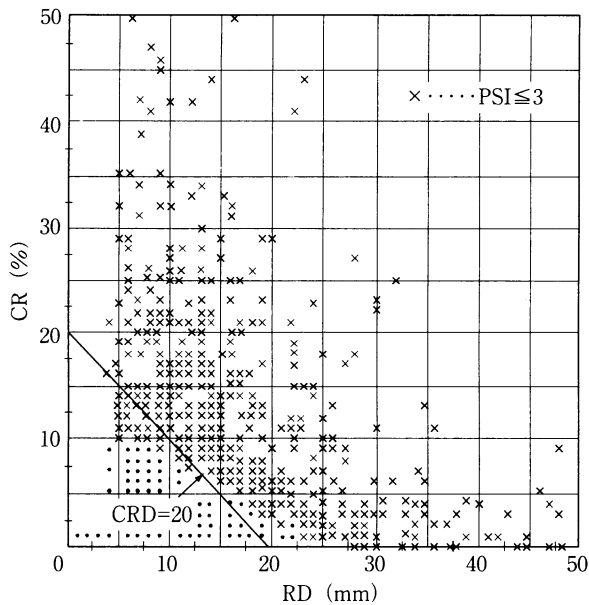


図-8 PSI ≤ 3 のデータ

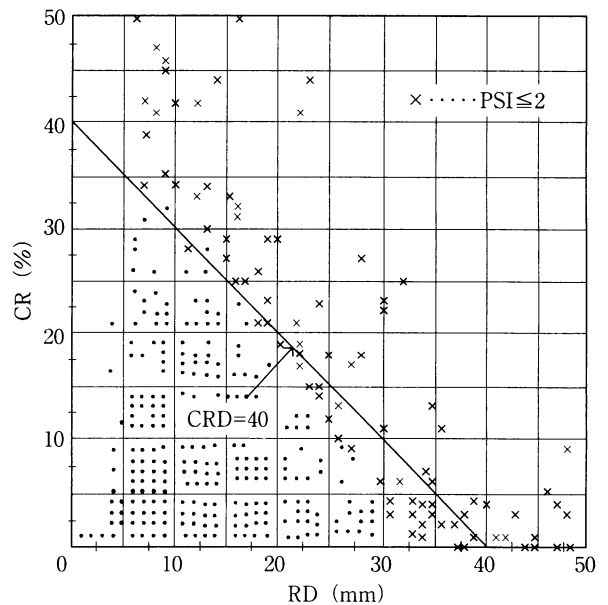


図-10 PSI ≤ 2 のデータ

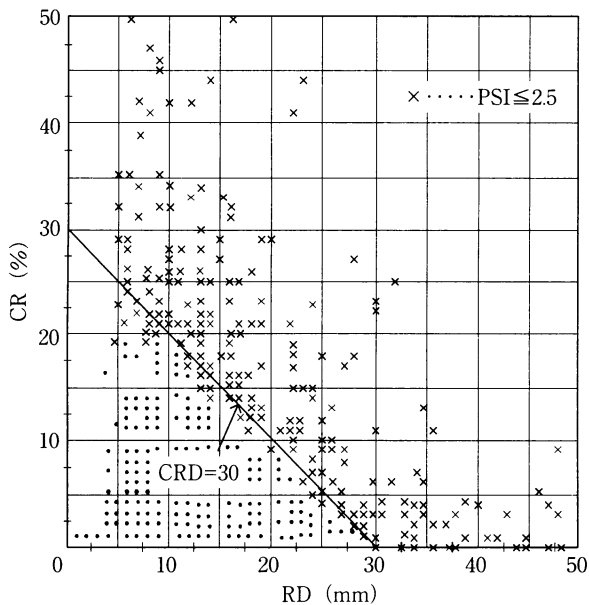


図-9 PSI ≤ 2.5 のデータ

表-2 実測値によるCRDとPSIの比較

CRD	CRDの 平均値	CRDの 標準偏差	PSIの 平均値	PSIの 標準偏差	データ数
0~5	4.4	0.7	4.1	0.19	115
5~10	8.1	1.4	3.9	0.24	202
10~15	12.9	1.4	3.6	0.25	207
15~20	17.9	1.4	3.3	0.26	195
20~25	22.9	1.5	2.9	0.20	144
25~30	27.8	1.4	2.6	0.13	85
30~35	32.8	1.2	2.3	0.11	71
35~40	37.8	1.4	2.0	0.19	54
40~45	43.0	1.5	1.8	0.21	20
45~50	48.4	1.5	1.5	0.36	15

を評価できることを意味するものであろう。両者の相関関係については次節で検討する。

(3) CRDとPSIの関係

1108個の測点に関するデータをCRDの大きさによって表-2のように10グループに分類し、各グループごとにCRDの平均値、標準偏差およびPSIの平均値、標準偏差を計算した。各グループの平均値でとったCRDとPSIの関係を図-11に示す。両者の関係はほぼ直線的であり、回帰分析によって次のような回帰式が得られた(相関関係0.99)。

$$PSI = 4.4 - 0.061CRD \quad \dots\dots\dots(7)$$

この式を利用して、PSI = 3.0, 2.5, 2.0に対応するC

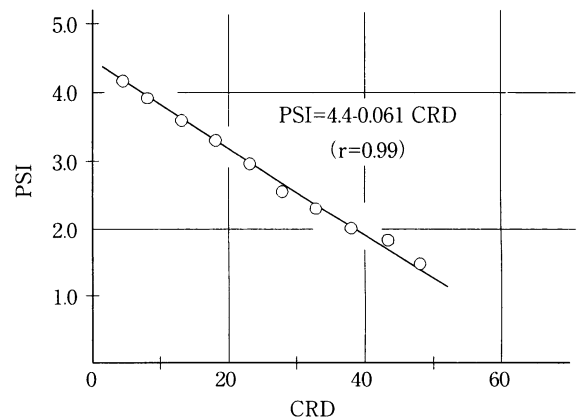


図-11 CRDとPSIの関係

R Dの値を求めると、それぞれCRD = 23, 31, 39が得られる。

(4) CRDとMCIの関係

前節と同様の手法で求めたCRDとMCIの関係を表-3, 図-12に示す。2次回帰による回帰式は次のとおりである(相関関係0.99)。

$$MCI = 8.8 - 0.21CRD + 0.0019CRD^2 \dots\dots\dots(8)$$

MCI = 6.0, 5.0, 4.0に対応するCRDの値は、それぞれ16, 23, 32となった。

MCIの2変数表示であるMCI₀とCRDの関係式は次の通りである(相関関係0.99)。

$$MCI_0 = 9.4 - 0.21CRD + 0.0019CRD^2 \dots\dots\dots(9)$$

(8), (9)式は定数項が異なるのみで全く同一の形となっているが、この定数項の差0.6は前に求めたσの影響、すなわち0.47σ^{0.2}の平均値0.58にほぼ一致している。

表-3 実測値によるCRDとMCIの比較

CRD	MCIの 平均値	MCIの 標準偏差	MCI ₀ の 平均値	MCI ₀ の 標準偏差	データ数
0~5	8.1	0.72	8.7	0.71	115
5~10	7.1	0.75	7.7	0.75	202
10~15	6.3	0.61	6.8	0.60	207
15~20	5.7	0.64	6.3	0.63	195
20~25	5.0	0.41	5.6	0.41	144
25~30	4.5	0.41	5.1	0.40	85
30~35	4.1	0.33	4.7	0.32	71
35~40	3.8	0.24	4.3	0.24	54
40~45	3.5	0.23	4.1	0.23	20
45~50	3.1	0.31	3.7	0.31	15

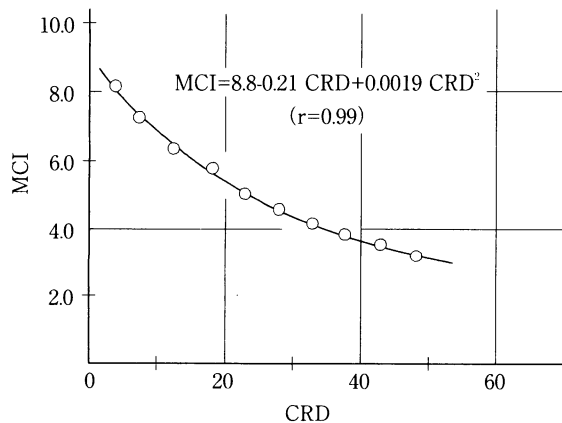


図-12 CRDとMCIの関係

(5) 重交通街路におけるCRDの分布

図-13は、昭和56年度に測定した環状7号線、新青梅街道、府中街道、五日市街道、町田街道のCRDの分布を示したものである。また図-14には、これらの路線のうち最も損傷の激しい環状7号線についてCRDの分布を示した。

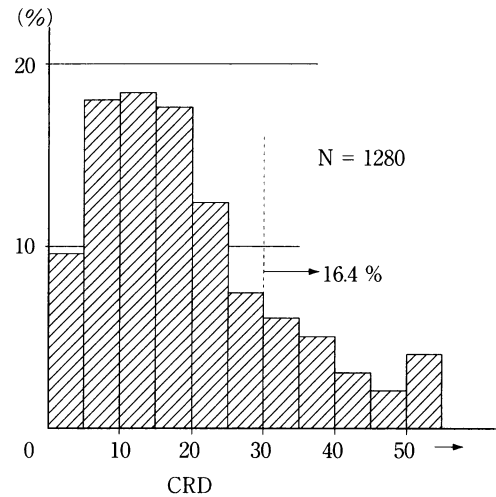


図-13 CRDの分布

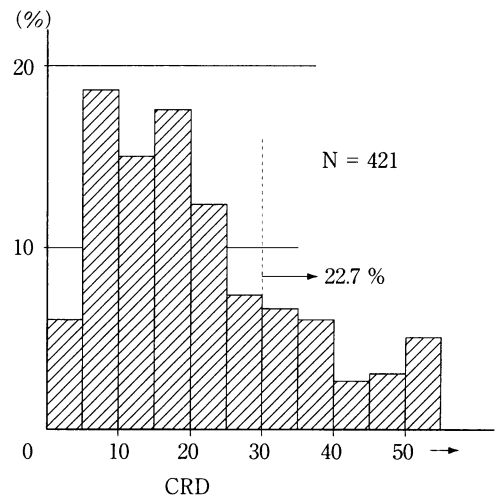


図-14 CRDの分布(環状7号線)

以上の重交通街路は、表-1の「自動車専用道路」ではないが、「交通量の多い一般道路」よりは荷重条件が厳しく、維持修繕の目安は両者の中間程度の基準が望ましい。この点を考慮して表-1の目標値を見直すと、重交通街路の場合、ひびわれ率30%、わだち掘れ量30mm程度が維持修繕要否の境界となろう。すなわちCRD = 30である。図より、30を超える区間は、一般の重交通街路で16%、環状7号線で23%程度となる。全線調査ではな

いため断言はできないが、補修を必要としている延長はきわめて多いと考えられる。

(6) CRDの適用限界と利用法

本研究で提案した供用性指数CRDは、解析の経過から明らかなようにσの値が2.5mm程度の重交通街路にのみ適用できるものである。今後の研究により、適用範囲を拡張できる可能性はあるが、そのためには当該道路のデータで検討しなおす必要があろう。

これまではCRDの基準値を仮に30として考察したが、この値は予算とのバランスなどを考慮に入れながら現実に則した基準に確立していく必要がある。また、CRDを単にCRとRDの和として求めてきたが、ひびわれとわだち掘れの重みをかえ、 $CRD = \alpha CR + \beta RD$ のような変形も考えられよう。

さらには、図-15のような維持修繕工法の選定にも役立てることができる。

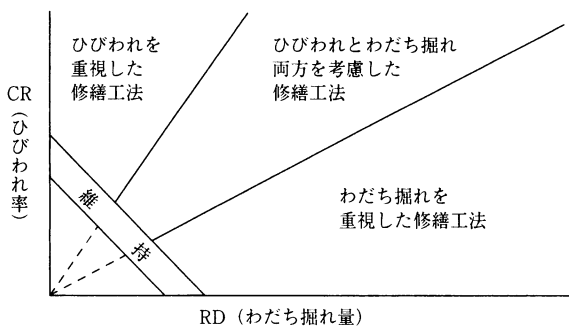


図-15 維持修繕の工法選定

以上、研究の一例を紹介した。道路維持修繕要綱の規定に準拠しながら、縦断方向の凹凸は定数として処理できること、供用性の評価は簡単な式で代用できることが明らかとなった。きわめて単純な結果ではあるが、調査費用、日常の維持管理業務に関し、かなりのプラスがあるものと期待してよからう。

地域によっては、わだち掘れだけ、あるいはひびわれだけを考慮すればよい場合もあるはずである。すなわち、それぞれの機関独自の調査研究が必要不可欠であると思われる。

7. あとがき

舗装の維持管理システムにつき、基本的な考え方、とりくみ方を述べてきた。今回をもって一応終了とし、各論、細部設計などに関しては、いずれ機会をあらためて一緒に考えてみたいと思っている。

舗装の世界は、土木の中でも一種独特の世界である。官・民・学がそれぞれの立場を前近代的に固守しながら技術者同士はきわめて仲がいい。時代の最先端ともいべきシステムが、この世界でどのように発展していくか興味深いところである。

御愛読ありがとうございました。

参考文献

- 1) 「AASHO道路試験」セメント協会, 1973.
- 2) 「道路維持修繕要綱」日本道路協会, 1978.
- 3) 丹治和裕「供用性調査とエレクトロニクス」アスファルト, 135, 1983.
- 4) 岡村 真「維持管理・補修へのエレクトロニクスの利用」アスファルト, 135, 1983.
- 5) 阿部(頼), 達下, 阿部(忠)「アスファルト舗装供用性評価式に関する一考察」, 第37回土木学会年次学術講演会, 1982.
- 6) 「東京都道路工事設計基準」1983.
- 7) 建設省第34回技術研究会「舗装の維持修繕の計画に関する調査研究」建設省道路局国道一課, 土木研究所, 1981.
- 8) 達下, 阿部(忠), 「重交通都市道路舗装の維持管理-環状7号線を中心に-」舗装, 16-5, 1981.