V－4

路面性状の評価手法に関する一考察

室蘭工大　　　　正　員　新田　　登
ニチレキ（株）正　員　秋本　　隆
室蘭工大　　　　学生員　伊藤　信之
室蘭工大　　　　学生員　橋本　喜正

１．はじめに

近年、道路事業における維持修繕の占める比率は非常に高くなっている。 維持修繕のサービスをより高めるにあたり、最も重要な点は道路の破損状況を的確に把握し、適切な評価を行うことである。現在道路の調査方法で行われているのは、横断プロフィルメータや直線定規を用いる方法、道路パトロール車による肉眼での調査等であるが、前者では交通の遮断とそれにかかる作業量が大きいという点、後者では細かい測定が行えないという点に問題があった。以上のような状況を踏まえ、路面性状自動測定車は最近の測定技術の進歩とあいまって開発された。本報告は北海道内の数地区の道路について、この測定車を用いて測定されたわだち掘れ深さのデータをもとに、舗装の評価法を検討したものである。

２．測定車両の概要及び測定データ

測定車は、速度ｖ＝４０km/hで走行しながら、ひび割れ、わだち掘れ深さ、縦断方向の凹凸を同時に測定するものである。わだち掘れの測定はレーザビデオ光切断法で計測し、計測範囲は最大幅員４ｍ、測定誤差は±１mmである。

今回、検討に用いている測定データは、直線が長く続く区間（これを「直線部」とする）、交差点が点在する市街地区間（これを「交差部」とする）、曲線区間が多く続く区間（これを「曲線部」とする）の３種類の区間データであり、各々がサンプリング間隔０．２５ｍで区間１km分、４０００個のデータで成り立っている。これについての概要は表－１に示している。

表－１　測定データの概要

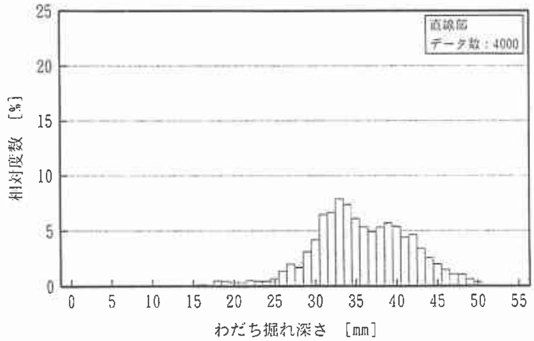
区間(100m)		0～1	1～2	2～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9~10	全区間
直線部	平均値(mm)	32.2	25.9	38.9	37.0	36.2	33.3	36.4	42.0	34.1	35.1	35.11
	標準偏差(mm)	5.56	5.68	4.91	4.27	3.14	2.45	3.70	4.58	3.38	5.43	4.31
交差部	平均値(mm)	26.0	26.3	27.1	32.8	29.1	28.1	27.5	30.0	31.2	23.7	28.18
	標準偏差(mm)	2.11	2.06	2.12	6.72	5.07	2.07	1.97	2.12	2.90	3.00	3.01
曲線部	平均値(mm)	7.05	11.0	8.69	8.70	8.84	8.84	8.75	7.16	6.87	7.53	8.343
	標準偏差(mm)	2.81	4.25	1.30	1.00	0.97	1.91	1.29	1.10	1.50	1.50	1.76

図－１は、測定データ全体の分布を示したものであるが、これによると直線部、交差部、曲線部の順にわだち掘れ深さが全体的に低くなっていることがわかる。さらに分布形状においても、直線部ではわだち掘れの幅が広いが曲線部ではばらつきが少なく集中している。これらのグラフの形状からほぼ正規分布に従うとして以下で検討を行っている。

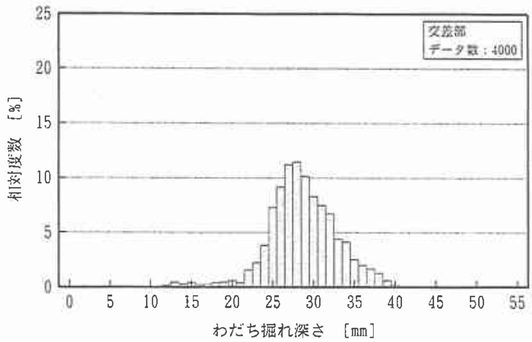
３．距離のずれと相関係数の関係

横断プロフィルメータを用いて、測定間隔２０ｍごとにわだち掘れ量を測定するのが従来からの方法であるが、０．２５ｍ間隔で測定したデータをもとに、この２０ｍという従来から用いられている間隔での測定の適否について検討してみる。これを検討するにあたり、まず距離のずれによる相関を調べてみる。

Some Consideration on Evaluation Analises of Surface Characteristics of Pavement
by Noboru NITTA, Takashi AKIMOTO, Nobuyuki ITO, Yoshimasa HASHIMOTO



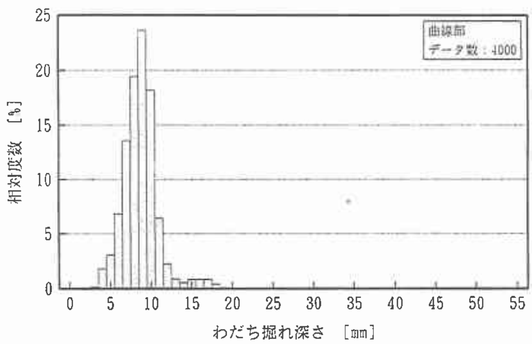
図－１(a) 直線部測定データ分布



図－１(b) 交差部測定データ分布

これは測定地点にずれがあったとき、もとのデータをどの程度反映するかの尺度になる。これは、全データから２０ｍ間隔で５０個の数値を抽出した標本を用いる。なお、この標本は抽出出発点を数値１個分つまり０．２５ｍづつずらして同様の抽出を順に行っていくと８０個出来上がる。この８０個の標本を＜間隔２０ｍ抽出データ＞と呼ぶことにする

距離のずれの大きさは０．２５ｍから２０ｍの間で適当な大きさのものを代表値とすることとし、位相差２０、１０、５、２、１、０．５、０．２５ｍと定めた。

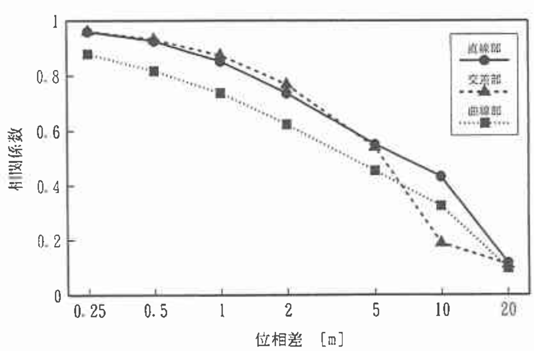


図－１(c) 曲線部測定データ分布

相関の取り方は位相差１０ｍを例にすると、まず＜間隔２０ｍ抽出データ＞の８０個の標本のうちの１番目の標本とそれから１０ｍ 離れた地点の標本、この例では４１番目のデータとの相関をとる。そうして、２番目と４２番目という様に順に相関をとって行くと位相差１０ｍでは３９個の相関データがとれる。同様に他の位相差について行うと、位相差５ｍでは５９個、２ｍでは７１個、１ｍでは７５個、０．５ｍでは７７個、０．２５ｍでは７９個の相関データを各々とることができる。

これらの相関データの計算結果を図－２に示している。全体的には位相差２ｍまで相関が比較的高いが、５ｍ以上になると相関があるとは言いがたい。また特に、交差部においての１０ｍ間隔の相関がかなり低い値になっているが、このことは、交差点が存在する区内ではわだち掘れの発生位置が短い距離で変化するために、１０ｍずれると適正な評価ができないことを意味するものと考えられる。

従って、距離のずれに関しては測定間隔を５ｍ以下に抑えておけば距離のずれは最大２．５ｍと言うことになり、測定出発地点がずれたとしてもほぼ同様の標本を得ることが出来るといえよう。



図－２ 数値間の距離別相関

４．１区間１００ｍで評価した時のわだち掘れ量の検討

現在、道路のわだち掘れ量の評価は、２０ｍ間隔で測定したデータを１区間１００ｍごとに平均した値を用いて行っている。従ってここでは測定間隔を変えることにより、区間の評価値がどのようになるか検討するため実際に間隔別データを求めてみることにした。

そこでまず直線部、交差部、曲線部それぞれ４０００個の全データから測定間隔別に抽出を行う。測定間隔は０．２５ｍ以上２０ｍ以下ということから代表値として２０、１０、５、２、１、０．５、０．２５ｍとすることとし、＜間隔２０ｍ抽出データ＞をとった方法で抽出をすると間隔０．５ｍ では標本が２個、同様に間隔１、２、５、１０、２０ｍではそれぞれ４、８、２０、４０、８０個の標本が出来る。ここでの１つの標本のデータ数は表－２に示した。

表－２　標本のデータ数

測定 間隔(m)	１標本における データ数	標本数
20	50	80
10	100	40
5	200	20
2	500	8
1	1000	4
0.5	2000	2
0.25	4000	1

使用するデータサンプルが出来たら次にこの抽出データでの各々一区間ごとに平均をとる。間隔２０ｍを例にとると、これの抽出データは１区間（１００ｍ）分の数値の数が５個であり従って区間平均は５個の値の平均値となる。またそれが１０区間（１km）分あるので、区間平均の値が１０個出てくることになる。この１０個の値を１つの標本として＜区間平均標本＞と名付ける。また間隔２０ｍの抽出データでは抽出データ数が８０個あるので、＜区間平均標本＞の数も８０個できる。この８０個の＜区間平均標本＞から同区間別に平均、標準偏差をとる。この操作を他の測定間隔の抽出データでも同様に行う。この結果は各々、＜区間平均標本の平均値＞＜区間平均標本の標準偏差＞とし、この後の計算時に使用する。

真の平均値により近づくためには、＜区間平均標本＞のばらつきを小さくすること、つまり＜区間平均標本の標準偏差＞をより小さくすることである。そこで現在においてもっとも真値に近いと思われるデータ、測定間隔０．２５ｍ、１区間４００個のデータ（表－１に記載）にどれだけ近づくことが出来るかを調べるため、まず測定間隔０．２５ｍのデータの区間ごとの母平均の信頼区間を信頼度９５％で推定してみる。

母集団が正規分布に従うとして検討しているので次の式が成り立つ。

$$x-1.960s/\sqrt{n} \leqq \mu \leqq x+1.960s/\sqrt{n}$$

ここで、ｘ：標本平均

ｓ：標本の標準偏差

ｎ：標本数

上式によって出てきた測定間隔０．２５ｍの母平均の９５％信頼区間に当てはまる確率を区間、測定間隔別に求めるとする。

例として、直線部の測定間隔２０ｍでの０～１００ｍ区間のサンプルで行ってみる。

まず直線部０～１００ｍの区間の０．２５ｍ測定間隔での母平均の９５％信頼区間を上記の式から求めると、標本平均３２．２、標準偏差５．５６（表－１より）で、個数４００個から

$$P(32.2-1.960*5.56/\sqrt{400} \leqq \mu \leqq 32.2+1.960*5.56/\sqrt{400}) \fallingdotseq 0.95$$

$$P(31.66 \leqq \mu \leqq 32.74) \fallingdotseq 0.95$$

従って信頼区間は

$$31.66 \leqq \mu \leqq 32.74$$

である。これをもとに、測定間隔２０ｍでの上記範囲に当てはまる確率を求める。

測定間隔２０ｍの平均は３２．２㎜、標準偏差は１．６２、（各々＜区間平均標本の平均値＞、＜区間平均

標本の標準偏差＞から）

z＝（x－３２．２）／１．６２　とおくと、zは標準正規分布N（０，１）に従い

$P(31.66 \leqq X \leqq 32.46)=P((X-32.2)/1.62 \leqq z \leqq (X-32.2)/1.62)$

$=P(-0.33 \leqq z \leqq 0.33)$

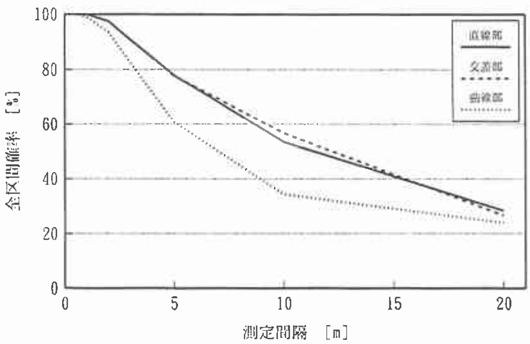
$=P(0.33)+P(0.33)$

$=0.1293*2$

$=0.2586$

$\therefore 25.86\%$

これから、直線部の区間０～１００ｍ における測定間隔２０ｍにおいて、道路から５個の数値をサンプリングして平均した値が、この検討に用いているデータの中で最も真値に近いデータである測定間隔０．２５ｍのデータの母平均の９５％信頼区間に当てはまる確率は２６．６２％、つまりこの値は４回に１回程度しかこの範囲内に入らないということがわかる。この方法で同様に全ての区間間隔ごとの確率を求め、全区間分で平均を求めると図－３のような結果が示される。



図－３　０．２５ｍ測定間隔に近づく確率

ここで、このデータに測定車の測定誤差による影響がどの程度あるか検討してみる。路面性状測定車の測定時における誤差は±１mmである。この誤差のばらつきが正規分布に従うとすると

$P(m-3\sigma \leqq X \leqq m+3\sigma) \fallingdotseq 0.997$

ここで、ｍ：Ｘの期待値

σ：Ｘの標準偏差

Ｘ：確率変数

期待値ｍ＝０、－１≦Ｘ≦１から３σ≒1

∴σ≒０．３３３となる。

従って測定誤差の平均値は０、標準偏差は０．３３３と仮定できる。

信頼度９５％のときの測定誤差の母平均μの信頼区間は

$m-1.690\sigma/\sqrt{n} \leqq \mu \leqq m+1.960\sigma/\sqrt{n}$　の式より

間隔２０ｍのとき

$-1.960*0.333/\sqrt{5} \leqq \mu \leqq 1.960*0.333/\sqrt{5}$

$-0.29 \leqq \mu \leqq 0.29$　[mm]

同様にして、間隔１０ｍのとき

$-0.21 \leqq \mu \leqq 0.21$

間隔５ｍのとき　　$-0.15 \leqq \mu \leqq 0.15$

間隔２ｍのとき　　$-0.09 \leqq \mu \leqq 0.09$

間隔１ｍのとき　　$-0.06 \leqq \mu \leqq 0.06$

間隔０．５ｍのとき　$-0.04 \leqq \mu \leqq 0.04$

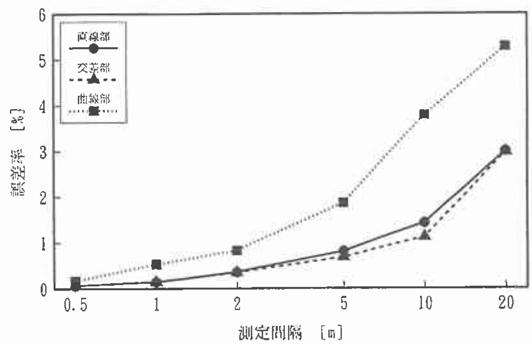
間隔０．２５ｍのとき　$-0.03 \leqq \mu \leqq 0.03$　（単位は全てmm）

となり、０．２５ｍ測定間隔の誤差はほぼ無視でき、測定間隔０．２５ｍ母平均の９５％信頼区間は変わらない。また誤差が一番大きい２０ｍ測定間隔でも誤差は約０．３mmで、信頼区間に当てはまる確率をほとんど変化させない。

このように、測定車の測定誤差はほとんど無視できる大きさであるということが言える。結果として、図－３から、測定間隔を２ｍぐらいにして行うと抽出サンプルの平均値が測定間隔０．２５ｍのデータからそれほど異なる値が出てこないということがわかる。

しかし、ここでの結果は測定間隔０．２５ｍの値と他の測定間隔の値を相対的にみたもので、個々の測定間隔ごとの評価はされていない。そこでこの点を以下で検討してみる。

この検討をするに際し、間隔別の誤差率を使用することにする。誤差率は<区間平均標本>と区間ごとの平均値とで差をとり、その差の絶対値を平均値で割ったものである。この誤差率を直線部、交差部、曲線部ごとの間隔別で求めた値は図－４のようになる。この図－４は、結果から言うと誤差率は低く、ここでの最大の間隔である２０ｍの値も評価の際にあまり問題にならないといえる。従って、この１区間１００ｍで平均をとった値でわだち掘れを評価する方法においては、無理に測定間隔を狭めていく必要性はあまりないのではないかと思われる。



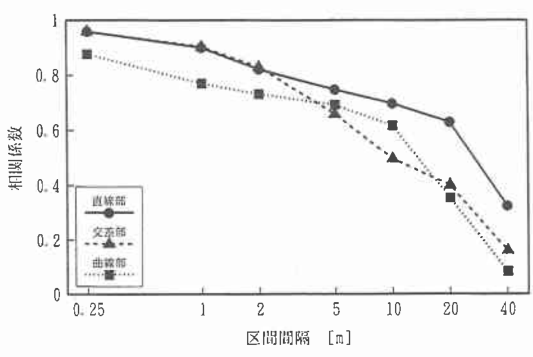
図－４　１区間１００ｍでの誤差率

５．区間と区間の相関

３では数値と数値との相関について検討したが、ここではある長さをもつ区間内の全データの平均値と、その隣の区間の平均値との相関をとる。これは平均値を区間の代表値として評価する場合に、どれぐらい間隔が広がると間隔ごとの平均値に相関が見られなくなるかを検討したものである。

この相関をとる際に、間隔は４０、２０、１０、５、２、１、０．２５ｍとしデータは測定間隔０．２５ｍのものを用いて相関をとると図－５のような結果が示される。

図－５から、直線部では間隔４０ｍで相関係数が０．３２、曲線部においては間隔１０ｍで相関係数が０．５０、交差部においては間隔２０ｍで相関係数が０．３５と、各々その間隔あたりから相関が失われており、全体的には間隔４０ｍでほとんど相関が失われているように思われる。この結果から１区間を４０ｍ以上に設定してその平均から評価する方法は、従来からの１００ｍ区間も含め、場所ごとのわだち掘れの傾向を全く反映しない結果がでる危険性があることがいえる。



図－５　区間平均と区間平均との相関

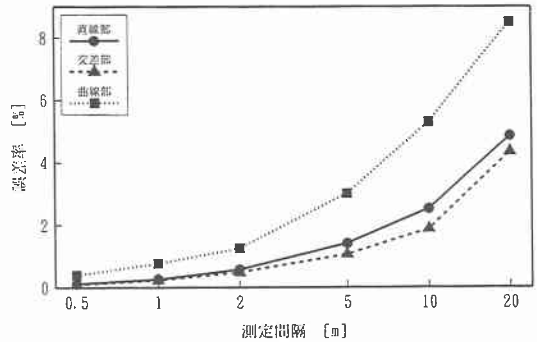
６．１区間４０ｍで評価した時の誤差率

前章で、１区間を４０ｍ以上にするとわだち掘れの評価における信頼性が薄くなる事がわかった。そこでこの章では、１区間を４０ｍとし直線部、交差部、曲線部で間隔２０、１０、５、２、１、０．５ｍ別に誤差率を求めたものである。この方法は１区間１００ｍの時と同様に行う。この結果は、図－６に示す。

図－６に示されているとおり誤差率は１００ｍ区間よりは大きくなったが、しかしこの区間でさえもあまり大きい誤差率ではないということがいえる。

7．まとめ

本報告では、路面性状自動測定車による道路のわだち掘れ量測定データをもとに解析を行ってみた結果、つぎのことがわかった。



図－6　１区間４０ｍでの誤差率

（１）わだち掘れ深さは、５ｍ以上測定地点がずれるとほとんど元の地点との相関が失われるようである。直線部はわだち掘れ深さの変動がなだらかに起こり、交差部はわだち掘れ深さの変動が比較的短い距離で起こる。曲線部は車両の走行速度が落ちることと、維持管理がしっかりしている事から、わだち掘れの分布幅が狭くわだち掘れ深さの変動量は小さいと言うことがわかる。

（２）データからの割り出しから測定間隔を２ｍ以下、少なくとも５ｍ以下にして行うと、今回使用した従来よりも測定間隔が細かい０．２５ｍ間隔で測定した値とほぼ近い値を得ることが出来るということがわかった。しかし、誤差率の点から検討するとあまり間隔を狭めてもそれほど意味がないようである。

（３）区間と区間の相関をとることによる結果から、１評価区間の長さを４０ｍ以上にしてもわだち掘れ量とその区間との対応関係を失わせ、場所ごとのわだち掘れの傾向をうまく反映しないことが起こりうる事がわかった。

（４）１区間４０ｍで誤差率の検討を行ってみたが、この場合も誤差率がどの区間でも低い。従ってここで言えることは、区間の評価にデータの平均値を代表値とする方法では誤差率が現れにくく、区間間隔を変えたり測定間隔を狭めていく方法では限界があろう。特に問題なのは、わだち掘れ深さのばらつきが大きいときに、わだち掘れの深い地点での値と浅い地点での値が平均することによって相殺されてしまい、代表値は路面評価の際に重要なわだち掘れの深い地点のデータを生かせず、もし区間内に修繕が必要な箇所があっても、区間としては問題ないという評価がでることも考えられる。

（５）これまでに述べた結果から、現在のわだち掘れ評価法はかなり問題があるといわざるを得ない結果となった。その中でも特に最後に述べた、相殺されるわだちデータの問題が重要であると考えられる。今後は、区間の平均値を代表値として評価する現在の方向から脱却する必要がありそうであり、平均値以外にいろいろな評価手段を組み合わせて用いた、路面の特徴、分布、傾向を損なわない新たな評価法の検討が必要であろうと思われる。