

縦断プロファイルのデータ収集法に関する研究

秋本 隆¹・笠原 篤²・川村 彰³・斉藤 和夫⁴

¹正会員 ニチレキ株式会社 北海道支店 業務技術課長(〒061-14 北海道恵庭市北柏木町3-34)

²フェロー会員 工博 北海道工業大学教授 工学部 土木工学科(〒006 北海道札幌市手稲区前田7条15丁目)

正会員³ 工博 北見工業大学助教授 工学部 土木開発工学科(〒090 北海道北見市公園町165)

⁴正会員 工博 室蘭工業大学教授 工学部 建設システム工学科(〒050 北海道室蘭市水元町27番1号)

舗装のサービス性能を評価する上で、路面の平坦性(ラフネス)を把握することは、道路利用者の乗り心地の評価につながるだけでなく、騒音・振動問題などの解析に有効である。路面性状自動測定装置の開発によって、通常の車両走行速度で延長方向に0.25m 間隔で縦断凹凸データの収集ができるようになったことから、平坦性を適正に評価するためのデータ間隔について、また平坦性を評価する単位区間長についての解析を行った。さらに、乗り心地の指標として世界銀行で提案された IRI と平坦性についての比較検討を行った。

KeyWords: PMS, Road surface property measurement equipment, 3m Profilometer, Roughness evaluation, IRI

1. はじめに

道路舗装の目的は、道路利用者に安全、快適、スムーズな走行といったサービスを提供することにある。これらの機能をサービス性能と称する。わが国における路面のラフネスを示す尺度としては、3m-プロフィロメータによって測定される縦断凹凸量の標準偏差(以下、 σ と示す)が採用されている。ラフネスの良悪は車両の振動に影響を与えることから、これが悪いと車両走行の快適性やスムーズな走行に悪影響となるだけでなく、積載物の荷痛みの原因ともなる。このことから、ラフネスは道路利用者にとっては重要な路面性状値の1つであるといえる。

舗装を経済的・合理的に管理する手法である舗装マネジメントシステム(PMS:Pavement Management Systems)を運用するにあたっては、ラフネス評価が重要となっている²⁾³⁾。さらに、このシステムにより経済性を考慮した維持・修繕の計画策定をするためには、供用後のラフネスの経時変化(以下、これをパフォーマンスと称す)を把握することが不可欠となっている。

σ のパフォーマンスを求めた報告には、悪化の傾向がわかるものの、スムーズに悪化が進行しないという結果になっているものがある⁴⁾。これは、 σ の測定自体に問題を含んでいるものと考えられる。

路面性状自動測定装置によって、延長方向に0.25m 間隔で収集した縦断凹凸量を基に、測定の開始位置のずれによる σ の変動を把握した。開始位置のずれによって σ が変動する影響を解消する方法として、縦断凹凸量の測定間隔について検討を行った。さらに、解析する単位区間長についての検討を行った。また、世界銀行でラフネスを共通化する目的で提案された乗り心地指標の IRI と σ について、比較検討を行った。

2. 3mプロフィロメータ

わが国においては、一般的にラフネスは、図-1に示された3m プロフィロメータを用いて路面の凹凸測定を行い、算出される。

ラフネスを求めようとする区間の始点(以下、基準点と言う)に3m プロフィロメータの測定車輪をセットし、区間の終点までこれを通常の歩行速度で牽引する。この中心に固定された記録計から、測定車輪の上下方向変位を、1.5m 移動させる毎に0.1mm単位で読みとり(以下、これを縦断凹凸量と言う)、この標準偏差を求め、それを σ で表している⁵⁾。通常、外側わだち底部を測線とする場合が多い。

この方法は、各種の装置・方法の検討を行った結果に基づき⁶⁾⁷⁾、竣工時の舗装の平坦性検査として1967年以来採用されている。

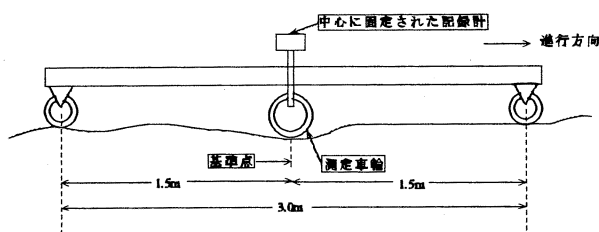


図-1 3m プロフィロメータの概要

3. 路面性状自動測定装置

今回、縦断凹凸量を収集した路面性状自動測定装置⁸⁾⁹⁾は、3要素(ひび割れ率、わだち掘れ量、 σ)を同時測定できるものである。以下に、縦断凹凸量の収集についての概要を説明する。

(1) 測定原理

路面性状自動測定装置による σ の測定原理は、レーザ距離計方式である。この概要を図-2に示した。

レーザ発光装置により出力されたレーザ光が路面で反射し、レンズを通過して距離受光装置に入力される。レーザ発光装置・レンズ・距離受光装置が一体となっていることから、距離受光装置に入力されるレーザの位置によって、これらの装置と路面の間隔距離が測定できるようになっている。

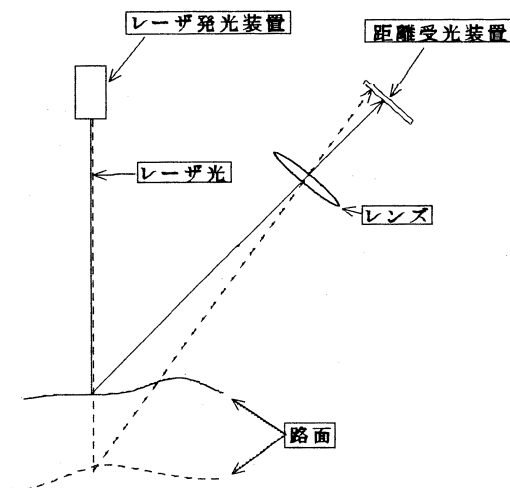


図-2 レーザ距離計の原理

路面性状自動測定装置には、レーザ距離計が外側車輪走行位置に1.5m 間隔で3個設置してある。これら3点の位置における路面との高さが、測定車が0.25m 進行する毎に高密度対応のビデオテープに収録されるようになっている。

なお、ここで用いているレーザ光線は、安全性を考慮して可視光線としていることから、日中にはデータの収集が不可能なものとなっており、測定は一

般交通の障害が少ない夜間に実施される。

(2) 路面性状自動測定装置・解析システム

この路面性状自動測定装置を用いて、 σ を求めるまでのシステムの概要と処理手順を示す。

a) 入力信号

レーザ距離計の情報と同時に走行距離の情報もビデオテープに収録される。走行距離情報は、設定距離毎(通常は0.25m 間隔)に、タイヤに押しあてられたローラ式距離計より1パルスの信号が出力されるようになっている。この距離精度は $\pm 0.1\%$ 以内である。

また、このビデオテープには解析時に参考となるメモなどの情報も音声として収録できるようになっている。

b) 解析処理

図-1に示すように、牽引式3m プロフィロメータは両端が固定の高さであるが、路面性状自動測定装置はローリングなどにより両端に設置したレーザ距離計と路面との高さ変動することから、縦断凹凸量は式(1)によって算出される⁹⁾。なお、レーザ距離計の出力を装置の前方から x_1 、 x_2 、 x_3 とする。

$$d = (x_1 + x_3) / 2 - x_2 \quad (1)$$

ここで

- d : 縦断凹凸量 (mm)
- x_1 : 前方の変位 (mm)
- x_2 : 中央の変位 (mm)
- x_3 : 後方の変位 (mm)

通常は、路面性状自動測定装置によって収集された0.25m 間隔の縦断凹凸量データから、図-3に示すように、1.5m 間隔になるように1, 7, 13……番目のデータを抽出し、単位区間(通常100m)での全縦断凹凸量の標準偏差を式(2)によって計算し⁵⁾、これを σ としている。

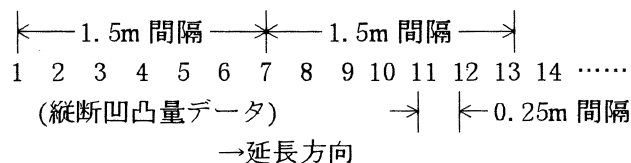


図-3 縦断凹凸量データの抽出

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum d^2 - (\sum d)^2 / n}{n - 1}} \quad (2)$$

ここで

- σ : 標準偏差(mm)
- d : 縦断凹凸量(mm)
- n : データ数

この種の路面性状測定装置による σ の検定精度は、牽引式3m プロフィロメータによって得られた σ との誤差が $\pm 30\%$ 以内となっている。

4. 0.25m間隔の縦断凹凸量データ

1995年秋期に、北海道の舗装道路の同一路線において、山岳地の曲線部・直線道路の平坦部・市街地の3箇所を路面性状自動測定装置によって各々1kmずつ測定を行った。選定にあたっては、橋梁・マンホールなどの道路構造物がなく、それぞれが同一年度に舗装された箇所とした。なお、曲線部と平坦部は1車線/1方向であるが、市街地は2車線/1方向であり信号付きの交差点が約150m 間隔にある。それぞれの箇所において、延長方向に0.25m 間隔で縦断凹凸量を収集した。この例として、曲線部における縦断凹凸量の変化を図-4に示した。

この図に示すように、縦断凹凸量は相当変化しているといえる。平坦部・市街部についても同様な傾向が見られた。

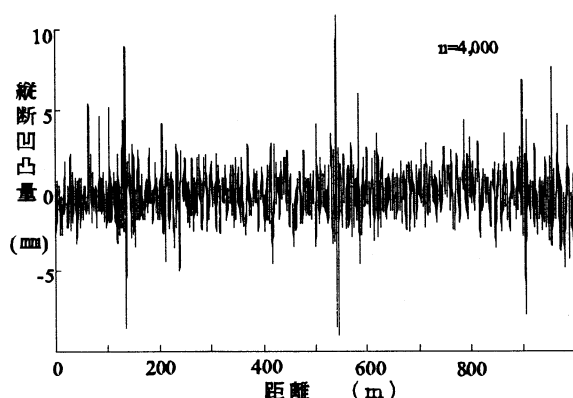


図-4 縦断凹凸量の変化(0.25m 間隔)

5. σ のパフォーマンス

サービス性能のパフォーマンスを把握するためには、同一区間における路面性状の経年変化を的確に求める必要がある。

3m プロフィロメータを用いて、1.5m 間隔の縦断凹凸量から単位区間を100m として算出された σ の経時変化を、参考文献4)の271頁表-3路面性状測定結果から引用したものを図-5に示した。この調査箇所は、一般国道36号の美々新試験道路であり舗装構造として CBR-TA 法で設計された A, B, C, D 構造と多層弾性理論によって設計された T1-1, T1-2, T2-1, T2-2構造の計8種類の構造から構成されている。

舗装の路面性状は、経年によってスムーズなカーブで悪化していくものであるといえるが、図-5では σ が前年より良好となることもありスムーズなカーブとはなっていない。

筆者らは、このような結果となったのは、測定装置の誤差、走行位置の再現性のほか、 σ を算出する縦断凹凸量の間隔と、測定開始の位置がずれることによる問題があると考え、間隔と測定開始位置ずれについて検討した。

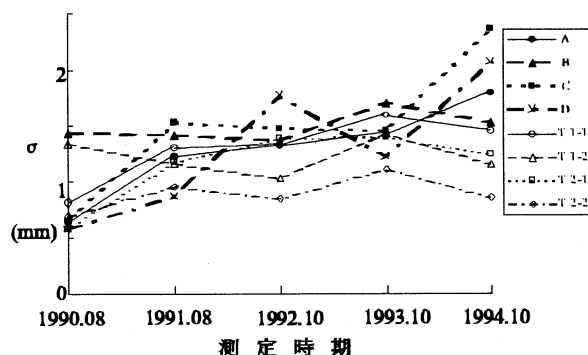


図-5 σ の経年変化例

6. 測定開始位置

収集した0.25m 間隔の縦断凹凸量の3km 分のデータについて、 σ を算出する区間(以下、単位区間と言う)を100m として、30区間に分割した。

以下、単位区間を $x(m)$ 、縦断凹凸量のデータ間隔(以下、データ間隔と言う)を $y(m)$ 、測定開始位置の基準点からの距離(以下、開始位置と言う)を $z(m)$ とし、 σ の表し方を $\sigma_{x,y,z}$ とした。

単位区間を100m、データ間隔を1.5m とし、開始位置を0m、開始位置の前方に0.50m、0.25m、さらに後方に0.25m、0.50m、0.75m とずらして、6つの $\sigma_{100,1.5,z}$ を求めた。開始位置が基準点となる $\sigma_{100,1.5,0}$ を横軸とし、他の5つの $\sigma_{100,1.5,z}$ を縦軸とした開始位置ずれによる σ の関係を図-6に示した。

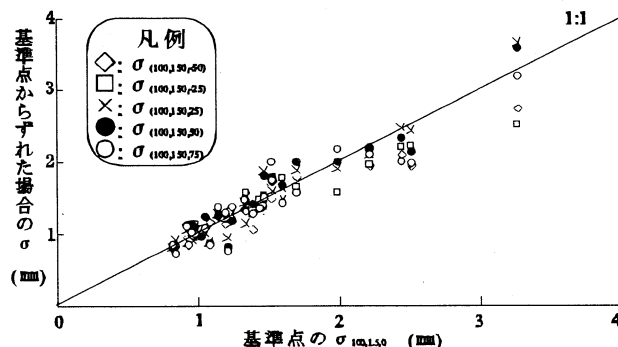


図-6 開始位置ずれによる σ の関係

全30区間における $\sigma_{100,1.5,z}$ の最大を $\sigma_{\max}$ 、最小を $\sigma_{\min}$ として、 $\sigma_{100,1.5,0}$ と比較すると、 $\sigma_{\max}/\sigma_{100,1.5,0}$ の30区間の平均が1.10、 $\sigma_{\min}/\sigma_{100,1.5,0}$ の平均が0.88となった。このことから、データ間隔を1.5mとして σ を求めた場合には、開始位置のずれによる σ の変動平均が約10%もあるといえる。

1例として、 $\sigma_{100,1.5,0}$ が最も大きな値となった区間について、開始位置ずれによる $\sigma_{100,1.5,z}$ を表-1に示した。

表-1 開始位置ずれによる σ の例

開始位置ずれ	σ
$\sigma_{100,1.5,-0.50}$	2.72mm
$\sigma_{100,1.5,-0.25}$	2.50mm
$\sigma_{100,1.5,0}$	3.27mm
$\sigma_{100,1.5,+0.25}$	3.65mm
$\sigma_{100,1.5,+0.50}$	3.57mm
$\sigma_{100,1.5,+0.75}$	3.17mm
平均	3.15mm

この区間の σ の最大値/ $\sigma_{100,1.5,0}$ は1.12、最小値/ $\sigma_{100,1.5,0}$ は0.76となった。このように開始位置がずれることによって σ が12~24%と大きく異なる結果が得られた。

7. データ間隔

(1)路面性状測定装置による縦断凹凸量での検討

路面性状自動測定装置によって収集された0.25m間隔の縦断凹凸量を基にして、単位区間を100mとし、解析に用いる縦断凹凸量のデータ間隔を1.5m、1.0m、0.75m、0.5m、0.25mと変化させ、 σ の解析を行った。各々のデータ間隔において、開始位置をずらし、全30区間における $\sigma_{100,y,z}$ を求めた。さらに、同一区間、同一データ間隔における $\sigma_{100,y,z}$ の最大を $\sigma_{\max}$ 、最小を $\sigma_{\min}$ とし、 $\sigma_{\max}/\sigma_{100,y,0}$ と $\sigma_{\min}/\sigma_{100,y,0}$ を求めた。全30区間について各データ間隔毎に求めた平均を表-2に示した。なお、参考として $\sigma_{\max}/\sigma_{100,y,0}$ の最大 $\sigma_{\min}/\sigma_{100,y,0}$ の最小も示されている。

この結果より、データ間隔が短くなるほど σ の開始位置ずれによる変動が小さくなるといえる。

(2)1cm間隔の縦断凹凸量での検討

データ収集間隔をさらに短くした場合の σ がどのような変動を示すかを明らかにするために、2点逐次法¹⁰⁾による路面プロフィロメータを用い、栃木県の県道において、絶対縦断プロファイルを1cm間

隔で延長100mのデータを収集した。この1cm間隔

表-2 開始位置ずれによる σ

データ 間隔	$\sigma_{\max}/\sigma_{100,y,0}$		$\sigma_{\min}/\sigma_{100,y,0}$	
	平均	最大	平均	最小
1.50 m	1.10	1.37	0.88	0.69
1.00 m	1.03	1.16	0.94	0.74
0.75 m	1.05	1.19	0.96	0.84
0.50 m	1.02	1.09	0.97	0.84
0.25 m	1.00	1.03	0.99	0.95

のデータを3mプロフィロメータ測定のデータとなるように式-2を用いて変換した。

変換した縦断凹凸量を基にして、データ間隔を0.25m、0.15m、0.10m、0.05m、0.03m、0.02m、0.01mと変化させ、さらに開始位置をずらして σ を求めた。 σ の真値をこの母集団の平均値2.86mmとし、データ間隔毎に σ の最大値/平均値、最小値/平均値を表-3に示した。

表-3 データ間隔毎の σ の最大/平均、最小値/平均

データ間隔	最大/平均	最小/平均
0.25 m	1.08	0.99
0.15 m	1.03	0.99
0.10 m	1.01	1.00
0.05 m	1.01	1.00
0.03 m	1.00	1.00
0.02 m	1.00	1.00
0.01 m	1.00	1.00

8. 単位区間長

一般的には、路面性状を評価する単位区間を100mとしている。しかし、供用中の舗装は交通荷重などの変化によって、路面性状が大きく変化することが考えられる。このことから、評価する単位区間長について全30区間を対象として、検討を行った。なお、縦断凹凸量のデータ間隔は0.25mとした。

単位区間を100mをとした $\sigma_{100,0.25,0}$ をベースとして、これを50mずつに2つに細分割し求めた $\sigma_{50,0.25,0}$ と比較したものを図-7、20mずつに5つに細分割し求めた $\sigma_{20,0.25,0}$ と比較したものを図-8に示す。なお、解析単位区間100mの中で、それぞれ単位区間を50、20mと短くして求めた σ の最大と最小の直線回帰をそれぞれの図に付記した。

これらの結果から、舗装の新設やオーバーレイの施工直後のように単位区間100mとして求められ

た $\sigma_{100,0.25,0}$ が 1mm 程度と小さい場合には、単位区間を 50m, 20m と細分割しても $\sigma_{50,0.25,0}$, $\sigma_{20,0.25,0}$ の変動は小さかった。しかし、 $\sigma_{100,0.25,0}$ が大きくなるに従って、50m, 20m と細分割して求めた $\sigma_{50,0.25,0}$, $\sigma_{20,0.25,0}$ の変動も大きくなった。この傾向は単位区間長を短くした方がより顕著であった。

このことから、舗装新設・補修後の施工管理において実施される σ の測定においては、 σ が小さいことから、単位区間長を変化させても変動は少なく、単位区間長を強いて短くする必要はないといえる。しかし、長期間供用されて路面が悪化してきた場合においては、単位区間長を短くした方が路面を適切に評価できるといえる。

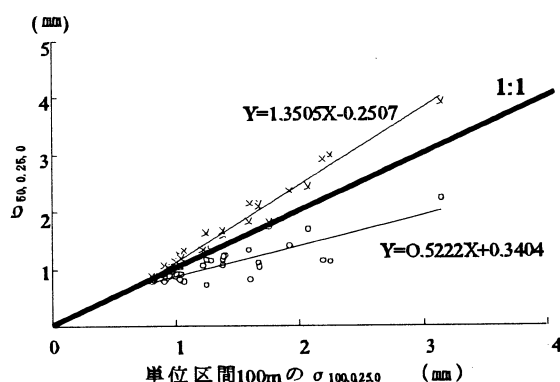


図-7 単位区間100mと50mの比較

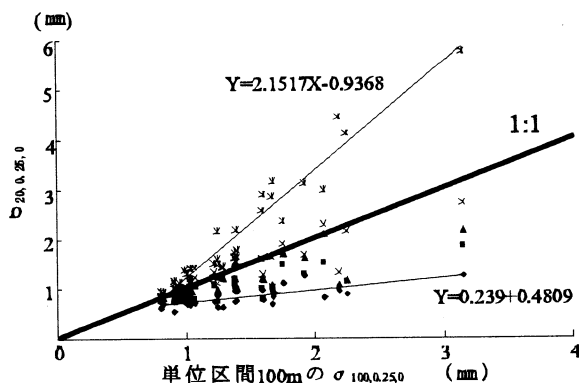


図-8 単位区間100mと20mの比較

9. IRIと σ の比較

国際ラフネス指数(IRI:International Roughness Index)¹¹⁾は、各国や機関によって異なるラフネスを共通化する目的で、1986年に世界銀行から提案されたラフネスの評価基準である。クォーターカー(2軸4輪の乗用車の1輪だけを取り出したもの)を一定の速度で路面上を走行させたときの車が受ける上下方向の運動変位の累積値と走行距離との比を、その路面のラフネスとしている。よって、この IRI の大

きい方が、路面の凹凸が大きく悪い状態であるといえる。

(1)現場データによる比較

本来 IRI は、絶対縦断プロファイルから算出されるものである。今回得られている縦断凹凸量は相対的なプロファイルであるが、絶対的な縦断プロファイルと置き換えて IRI を算出した。全30区間を対象として、単位区間を100m、データ間隔を0.25m とした $\sigma_{100,0.25,0}$ と同一区間の IRI の関係を図-9に示す。この結果、IRI と σ の相関係数(R)は0.65となった。

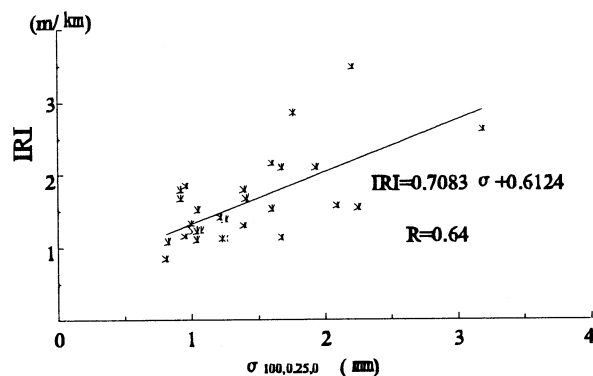


図-9 IRI と σ の関係

相関係数はそれほど大きな値を示さなかったが、 σ が大きくなると IRI も大きくなるといった傾向があるといえる。

解析間隔、データが同一であるのにもかかわらず、相関係数が大きくならなかったのは、IRI は車両の運動変位の累積値と走行距離との比を、その路面のラフネスとしているが、 σ は単純に縦断凹凸量から求めたものであるといった算出方法の違いによるものと考えられる。

(2)単純モデルによる比較

縦断凹凸量のモデルにより、 σ と IRI の比較検討を行った。図-10に σ が 1.00mm となるような 0.25m 間隔の単純な縦断凹凸量のモデルと、それによって求められる IRI を示した。この図-10には数 m 分しか表していないが、100m 同じパターンが繰り返されるとして IRI を求めた。

ここで示されるように σ が 1.00mm と同じでも、縦断凹凸の形状が異なることで IRI は変化するといえる。 σ は単純に縦断凹凸量に影響されるが、IRI は長波成分に影響されることからこのような結果となったと考えられる。

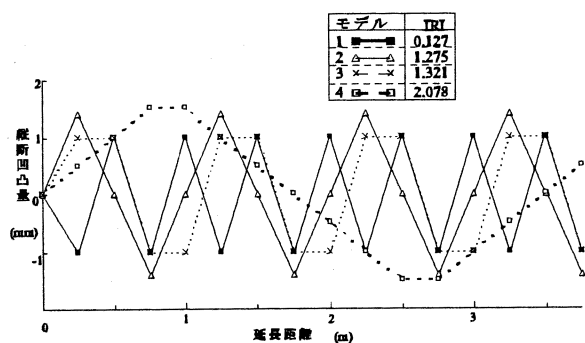


図-10 σ が1.00mmとなるモデル

10. 結論

以下に、本研究で得られた成果を要約して示す。

1. 一般的に、 σ を求めるための縦断凹凸量のデータ間隔は1.5m となっているが、この間隔では開始位置がずれることにより σ は大きく変動するといえる。
2. σ を求める縦断凹凸量データのデータ間隔を短くすることで、開始位置のずれによる σ の変動は小さくなる。
3. 単位区間を100m とした場合の $\sigma_{100,0.25,0}$ が1mm程度と σ が良好な箇所においては、この区間を細分割した σ の変動は小さいが、 $\sigma_{100,0.25,0}$ が大きくなると、細分割した σ の変動が大きくなる。
4. σ により IRI をある程度想定できるが、強い相関関係があるとはいえない。

11. おわりに

PMS を運用するにあたって、舗装のサービス性能のパフォーマンスを把握することが重要な課題であり、従来行われている1.5m 間隔での σ の算出

は、開始位置のずれによる変動が大きく、満足できるパフォーマンスが得られないと考えられる。

IRI といった世界的な乗り心地指標への取り組みが、今後期待される。

参考文献

- 1) 中山晴行, 渡辺忠: 舗装路面性状と動的荷重との関係, 舗装, 11, 1995.
- 2) Haas, R. and Hudson, W. R.: Pavement Management Systems, 1978.
- 3) Haas, R., Hudson, W. R. and Zniwski, J: Modern Pavement Management, 1994.
- 4) 石谷雅彦, 中川伸一, 小笠原章, 高橋守人, 笠原篤: 美々新試験舗装道路におけるアスファルト舗装のパフォーマンスに関する研究, 土木学会論文集, No. 564/V-35, pp265-276, 5, 1997.
- 5) (社) 日本道路協会: 舗装試験法便覧, 11, 1988.
- 6) 河野 宏: 竣工時の舗装の平坦性試験について(1), 土木技術資料, Vol. 9, No. 4, 土木研究会, 4, 1967.
- 7) 河野 宏: 竣工時の舗装の平坦性試験について(2), 土木技術資料, Vol. 9, No. 7, 土木研究会, 7, 1967.
- 8) 柴崎 隆次, 安納 正美: 舗装の評価とエレクトロニクス, アスファルト, Vol. 33, 7, 1990.
- 9) 若江 正幸, 柴崎 隆次, 市橋 茂紀: 路面性状自動測定装置による測定, 舗装, Vol. 28, 2, 1993.
- 10) Ichihashi, S., Fukuhara, T., Himeno, K., Kawamura, A. and Kasahara, A.: Development of a New Data Acquisition System for Measuring Pavement Surface Profile, Proceedings of Second International Conference on Road Surface Characteristics, 1992.
- 11) Sayers, M. W., Gillespie, T. D. and Queiroz, C. A. V.: The International Road Roughness Experiment, World Bank Technical Paper Number 45, 1986.

DATA COLLECTION OF PAVEMENT PROFILE

Takashi AKIMOTO, Kazuo SAITO, Atsushi KASAHARA, Akira KAWAMURA

It becomes effective for analysis such as with evaluation of ride comfortable of road user and noise vibration problems that grasping roughness of road surface when evaluates service ability of pavement. By the development of measurement device that road surface property was automatic, collection of vertical section unevenness data became possible in 0.25 m interval in extension direction by usual vehicles traveling speed. We carried out analysis about data interval for the evaluation that was reasonable roughness and carried out analysis about the unit section that evaluated roughness length. Furthermore, we carried out comparison examination about IRI and roughness suggested in world bank as an index of ride comfortable.