既設土砂系舗装の路面プロファイルに関する研究

坂本 康文¹・達増 康隆²・緒方 英彦³

¹正会員 鹿島道路株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

E-mail: sakamoto@kajimaro.co.jp

²正会員 鹿島道路株式会社 技術研究所 (〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1)

³正会員 博(農) 鳥取大学 農学部 (〒680-8553 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101)

近年、一般道では、環境に配慮した舗装として土砂系舗装が注目されている。一方、農道においては、未舗装路面として砂利や碎石等の層で路面を形成している土砂系舗装が数多く残されている。一般道では 2001 年の舗装の構造に関する技術基準の通達により性能規定化が進められているが、農道においても 2005 年から性能規定化が導入されている。本研究では、土砂系舗装の性能規定化に資することを目的として、既設の土砂系舗装と一般のアスファルト舗装の路面プロファイルを測定・分析し、土砂系舗装は短い間隔で比較的大きな凹凸を有している等の路面特性を明らかにした。

Key Words : existing sediment pavement, on-farm road, longitudinal surface profile, spatial frequency

1. はじめに

道路はその用途に応じて、一般道、農道、林道、港湾道路などと呼ばれる。農道や林道においては、砂利や碎石等の層で路面を形成している土砂系舗装（一般には、土系舗装と呼ばれることが多いが、ここでは農道での分類に従い土砂系舗装と呼ぶ。）が数多く残されている¹⁾。一方、近年では、環境に配慮した舗装として注目され²⁾、通常の車道舗装としての適用性の検討³⁾等も行われている。

一般道の舗装では、2001 年「舗装の構造に関する技術基準」⁴⁾が通達され、性能規定化が強く推進されている。農道においても、2005 年に「土地改良区事業計画設計基準・設計（農道）基準書・技術書」⁵⁾が改定され、農道舗装の性能規定化が導入されている。農道に求められる性能の一つとして、農産物を安全かつ円滑に目的地へ輸送することが挙げられるが、そのためには荷傷みしない程度の平坦性や農業用機械の走行に耐え得る強度が求められる。しかし、土地改良区が管理主体である農道の舗装率は 35.4%¹⁾と全体の 1/3 程度にしか達しておらず、特に耕作地に隣接するほ場内農道は土砂系舗装の占める割合が高く、良好な平坦性や耐久性を有しているとは言えない。

また、舗装の維持修繕における要否の判定には、路面凹凸の標準偏差 σ_{3m} が用いられ、 $\sigma_{3m}=3.5\text{mm}$ ⁶⁾をその目安として用いることが多い。しかし、一般道とは利用目的等の異なる農道舗装においては、求められる路面の性能

が明らかになっておらず、 $\sigma_{3m}=3.5\text{mm}$ をそのまま管理目標に設定することは適切ではないと考えられる。

そこで筆者らは、土砂系舗装の性能規定化に資することを目的とした研究を進めており、その一環として鳥取大学付属農場内に数種類の試験舗装を構築し、路面プロファイル等の計測を行っている。本論文では、土砂系舗装の持つ路面プロファイルの特性に関して、試験舗装の施工前後での測定に加え、既設の土砂系舗装や一般道で測定した路面プロファイルについて波形の分析を行い、土砂系舗装は短い間隔で比較的大きな凹凸を有しているなど、土砂系舗装の路面特性を明らかにしたので、その概要を以下に報告する。

2. 調査対象路面

今回の調査対象とした路面は表-1 に示す 6 種類である。調査箇所の路面の外観を写真-1 に示す。

表-1 調査対象路面一覧

路面	道路種別	路面構成材
	鳥取大付属ほ場内農道	土砂系材料（細粒分質礫質砂）
	〃	上記土砂系材料の安定処理
	一般ほ場内農道	土砂系材料（細粒分質礫質砂）
	〃	〃
	一般市町村道	アスファルト混合物
	〃	アスファルト混合物

ほ場内農道とは、主にほ場（田畑）への通作、営農資材の搬入、ほ場からの農産物の搬出等の農業生産活動に利用される農道をいう。

路面 (鳥取大付属ほ場内農道, L=161m)

路面 (鳥取大付属ほ場内農道, L=161m)

路面 (一般ほ場内農道, L=157m)

路面 (一般ほ場内農道, L=118m)

路面 (一般市町村道, L=150m)

路面 (一般市町村道, L=149m)

写真-1 調査対象路面の外観

路面 と路面 は鳥取大学附属農場内の支線農道であり、同一路線での試験施工前後の路面である。この支線農道は、営農を目的とした道路ではないために日常の交通量は極めて少なく、道路の両脇には幅 50cm 程度のコンクリート製用水路が設置されている。路面 は丈の短い雑草が全面に繁茂している試験施工前の状態の路面である。一方、路面 は当該路線で路上再生工法による安定処理を施したもので、ほぼ平滑に改良された路面である。

路面 と路面 は、一般の営農のためのほ場内支線農道であり、わだち部は土砂系材料が露出し、それ以外は丈の短い雑草が繁茂した土砂系舗装によく見られる路面状態である。路面 にはともに片側に用水路が設けられており、路面 では幅 50cm 程度のコンクリート製、路面 では幅 2m 程度の素掘りである。

路面 と路面 は一般市町村道のアスファルト舗装である。写真でもわかるように、路面 はひび割れが多くかなり損傷が進んだ状態であるのに対して、路面 は修繕工事後の新設に近い状態の路面であり、土砂系舗装との比較対象として選定した。

なお、各路面の測定延長は 120 ~ 160m であり、路面プロフィールを評価する上では十分な延長とは言えないが、ほ場内農道の実態を踏まえ、路面 と路面 についても同程度の延長となるようデータを抽出して用いた。

3. 路面プロフィールの測定結果

MRP⁷⁾(Multi Road Profiler, クマタカエンジニアリング)

を使って路面の縦断プロフィールを測定した。MRP は、レーザ光で高さを測定し、内蔵されたジャイロセンサによって装置の傾きを認識することで、絶対高さでの路面の凹凸評価が可能な測定器である。測定は 1cm 間隔で行い、農用車両(軽トラック)のタイヤの接地長を考慮して、前後 10cm を含めた計 20cm を(1)式のように単純移動平均により平滑化し、全体の平均高さを基準としてその差として表した。路面ごとの測定結果を図-1 に示す。図中には、3m プロフィールメータでの標準偏差(σ_{3m})と IRI (International Roughness Index) も併記した。

$$H_{sma,i} = \frac{H_{i-10} + \dots + H_i + \dots + H_{i+10}}{21} \quad (1)$$

ここに、 $H_{sma,i}$: i 番目の地点の単純移動平均後の高さ (mm)
 H_{i-10} : i 番目の地点よりも 10cm 後方の実測高さ (mm)
 H_i : i 番目の地点の実測高さ (mm)
 H_{i+10} : i 番目の地点よりも 10cm 前方の実測高さ (mm)

路面 ~ の土砂系舗装では、短い間隔で大きな凹凸があるのに対して、路面 のアスファルト舗装では、比較的大きな間隔で凹凸が生じており、その凹凸の振幅だけで見ると、路面 が極端に小さくなっている。

路面ごとに得られた σ_{3m} と IRI の関係を示すと図-2 のようになる。見かけ上は強い相関が認められるが、前述のように波形には大きな違いがある。IRI と路面状態には図-3 のような関係があるとされており⁸⁾、土砂系舗装は粗い舗装されていない道路に該当する。しかし、そこでの標準走行速度は幅が広く、土砂系舗装の IRI を適切に

図-1 縦断プロファイルの測定結果

図-2 σ_{3m} と IRI の関係

図-3 路面性状とラフネスの関係

評価するためには、求められる性能との関連付け等を別途検討する必要があるものと考え。

次に、路面ごとのプロファイルデータの分布を図-4に示す。個々の路面高さデータの標準偏差 (SD_{pro}) も併記した。いずれの路面も概ね正規分布に近い分布形状をしていることがわかる。また、ここで求めた SD_{pro} と IRI の関係を図-5に示すが、 σ_{3m} との関係とは違って、土砂系舗装とアスファルト舗装では関係式の勾配が大きく異なった形で現れている。特に、路面Ⅰは土砂系舗装の延長線上に近い値であるのに対して、路面Ⅵは大きく外れており、データ数は少ないものの、土砂系舗装とアスファルト舗装における路面の損傷形態の違いが、 SD_{pro} と IRI との関係の違いとなって現れているものと考え。 σ_{3m} と SD_{pro} が異なる要因としては、 σ_{3m} の算出に用いる路面高さが 1.5m 間隔で測定された値であることと、連続測定ではあるが測定器の移動とともに基準となる高さに変化するために、路面の絶対的な高さが評価できていないことなどが挙げられる。

以上のことから、土砂系舗装のように短い間隔で比較的大きな凹凸を含む路面の損傷度合いを評価するには、従前からの平たん性の評価指標である σ_{3m} だけでなく、

図-4 プロファイルデータの分布

図-5 SD_{pro}とIRIの関係

図-6 路面の波状特性による分類

個々の路面高さデータの標準偏差 (SD_{pro}) を測定・評価し、IRI との関係性を把握することが有用であると考えられる。

4. 路面プロファイルの波状特性

路面のプロファイルは、様々な周波数と振幅を有する波の複合体と捉えられる。路面の波状特性を分類したものとしては、図-6 に示す PIARC (Permanent International Association of Road Congress) の路面性状に関する技術委員会 C1 から報告されたものがある⁹⁾。これによると、平たん性は 5cm ~ 50m の波長帯に属し、車両の乗り心地と関係が深いことがわかる。

路面の波状特性を分類する手法としては、パワースペクトル密度 (Power Spectral Density ; PSD) による方法がある。図-7 に、今回計測した路面プロファイルの空間周波数と路面高さの PSD の関係を示す。同一周波数あるいは波長で比較した場合、下方に位置するほどその成分が

図-7 路面 ~ の PSD

図-8 路面 ~ の 1/3 オクターブバンド PSD

少ないことを意味しており、下方に位置する方が路面状態は良いと判断される。なお、ここでの PSD は Pro VAL¹⁰⁾ を使って求めたものである。

図-7 より、路面 I については、5cm～100m のすべての波長域において他の路面とは異なる PSD を示しており、波形成分の違いが明確に現れていることがわかる。特に、車両の乗り心地に影響を及ぼすとされる波長 50m 以下での違いが顕著であり、土砂系舗装とアスファルト舗装では、路面プロファイルに含まれる空間周波数の密度分布が大きく異なっていることがわかる。また、いずれも空間周波数 5cycle/m 付近で急激な低下が見られる。この要因としては、路面高さとして 20cm の移動平均を用いたことが影響しているものと考えられるが、現段階では明確な結論は得られておらず、今後の研究で明らかにしたい。次に路面 II について見ると、路面 I に比べれば土砂系舗装に近いものの、土砂系舗装全体と比べると良好な路面状態に位置しているものと思われる。ただし、路面 I ～

の土砂系舗装の違いについては、曲線が入り乱れて判別が難しいことから、1/3 オクターブバンドでフィルターを掛けることとした。結果を図-8 に示す。図中には、路面ごとの曲線の違いを判断するための目安として、ISO (International Organization for Standardization) によって提案されている PSD による路面の平たん性に関する 8 段階の分類 (A～H)¹¹⁾ も併記した。各分類の PSD の比率はそれぞれ 4 倍 (詳しくは後述する表-2 中の $S(n_0)$ 欄参照) となっている。

図-8 より、1/3 オクターブバンドフィルターを通したことで、土砂系舗装ごとの路面の波形の違いがよく表れて

いる。具体的には、路面 I、路面 II と路面 III、路面 IV の波形は明らかに異なっている。路面 I と路面 II を比較すると、波長が 10m 程度以下の PSD において、ISO の路面分類で 1 段階分の差が現れていることがわかる。つまり、路面 I に改良を加えたことで、波長 10m 以下の PSD が 1/4 になったことを意味しており、改良の効果が波状特性としても顕著に現れていることが確認できる。また、路面 III と路面 IV については、すべての波長域でほぼ同等の PSD であり、同じような路面のうねりを有していることがわかる。

路面波形の PSD では、パワースペクトル $S(n)$ と空間周波数 n との関係が両対数軸上で直線になることが多いことから、ISO の 8 段階の分類が設定されており、その場合の $S(n)$ は(2)式のように表されている^{9), 11)}。

$$S(n) = S(n_0) \cdot \left(\frac{n}{n_0} \right)^{-w} \quad (2)$$

ここに、 n_0 : 基準空間周波数 (=0.1cycle/m)

$S(n_0)$: 路面の平滑度

w : 対象周波数の分散度

図-8 に示した路面 I ～ IV のパワースペクトルと空間周波数の関係を求めると表-2 のようになる。参考として ISO の 8 段階の分類の数値も示した。路面の平滑度 $S(n_0)$ を見るといずれの路面も E 区分に分類されるが、路面 I は範囲の下限側であり、路面 II が上限側、路面 III が中央に近い値となっている。これは、路面高さの標準偏差 SD_{pro} と同様の傾向である。一方、分散度 w を見ると、路

表-2 路面 ~ の $S(n_0)$ と w

		$S(n_0) (\times 10^{-6})$	w
路面		2269	2.253
路面		2243	2.243
路面		7528	3.378
路面		4891	3.302
ISO8608	A	>32	2
	B	32 ~ 128	
	C	128 ~ 512	
	D	512 ~ 2048	
	E	2048 ~ 8192	
	F	8192 ~ 32768	
	G	32768 ~ 13072	
	H	13072 <	

面 , は ISO の 2 に近い値であるが,路面 , は 3 のオーダーとなっており,路面プロファイルの違いが,分散度としても現れているものと考えられる.

したがって,土砂系舗装においても,路面プロファイルの評価にあたっては,周波数分析がかなり有効な手段であることがわかった.

5. まとめ

本研究によって得られた成果は,以下のようにまとめられる.

- (1) 土砂系舗装は,一般道に比べて短い間隔で比較的大きな凹凸を有している.
- (2) 土砂系舗装における路面凹凸の損傷度合いの評価には,従前からの平坦性の評価指標である $3m$ だけでなく,連続して測定した路面の高さデータの標準偏差 (SD_{pro}) と IRI の関係を把握することが有用である.
- (3) 土砂系舗装における路面プロファイルを IRI で評価するには,走行速度を加味した検討が必要である.

- (4) 土砂系舗装の路面プロファイルの評価には,周波数分析が有効であり,特に 1/3 オクターブバンドフィルターを通すことで,波形成分の違いを明確に分析することができる.

6. おわりに

本研究により,アスファルト舗装とは異なる土砂系舗装の路面プロファイル特性の特性を明らかにすることができたと考える. 今後は,異なる路線でのデータをさらに収集・蓄積することで,信頼性の向上を図るとともに,土砂系舗装の耐久性評価にも活用していきたい.

参考文献

- 1) 農林水産省:農林水産統計平成 22 年農道整備状況調査結果の概要,2011.3
- 2) (社)日本道路協会:環境に配慮した舗装技術に関するガイドブック,pp.208-212,2009.6
- 3) 五傳木一,坂本康文,山埜井明弘,川上篤史:土系舗装材料の車道への適用性に関する一検討,土木学会第 65 回年次学術講演会,2010.9.
- 4) (社)日本道路協会:舗装の構造に関する技術基準・同解説,2001.7.
- 5) 農林水産省:土地改良事業計画設計基準・設計「農道」,2005.3.
- 6) (社)日本道路協会:道路維持修繕要綱,1978.3.
- 7) 国土交通省新技術情報提供システム:けん引式路面性状 3 指標同時測定システム,NETIS No. KT-060081-A
- 8) (社)土木学会:路面のプロファイリング入門,2003.1.
- 9) 川村彰:講座 路面の評価(第 1 回) - 平坦性に着目して -, 舗装 Vol.36 No.8, pp.31-35, 2001.8.
- 10) <http://www.roadprofile.com/>
- 11) ISO8608 : Mechanical vibration - Road surface profiles - Reporting of measured data , pp.1-30 , 1995.9.

RESEARCH ON LONGITUDINAL SURFACE PLOFILE OF EXISTING SEDIMENT PAVEMENT

Yasufumi SAKAMOTO, Yasutaka TASSO and Hidehiko OGATA

In the general road in recent years, the sediment pavement attracts attention as pavement which considered environment. On the other hand, many sediment pavement in which the road surface was formed with gravel etc. as non-pavement. Performance specification for pavement structure design of road was established by MLIT in 2001, and also performance specification for pavement structure design of farm road was established by MAFF in 2005. In this research, the longitudinal surface profile on existing sediment pavement or general asphalt pavement was measured and analyzed. And, the sediment pavement had the road surface characteristics, such as having comparatively big irregularity at the short interval.