

水準測量および Dipstick による基準路面プロファイルの測定方法

Measurement of a Reference Surface Profile by the Rod and Level Method and the Dipstick Profiler

北見工業大学工学部 ○正会員 富山和也 (Kazuya Tomiyama)
 北見工業大学工学部 正会員 川村 彰 (Akira Kawamura)
 北海道科学大学工学部 正会員 亀山修一 (Shuichi Kameyama)

1. はじめに

近年、道路整備の質的向上に対する社会的関心の高まりを背景に、路面特性の一つである平坦性（ラフネス）調査の重要性が増している。国内における主な平坦性の調査は、3m プロフィロメータを用いた路面凹凸の測定結果に基づき、標準偏差 σ を算出する方法がある¹⁾。また、高速道路における新設時の出来形管理では、8m プロフィロメータを用いた路面凹凸の測定結果に基づく、Profile Index (PrI) が用いられてきた²⁾。一方、近年では、車両の振動応答に基づく国際指標である IRI (International Roughness Index: 国際ラフネス指数) による平坦性評価が普及してきており^{2),3)}、高速道路新設時の出来形管理においても、PrI に代わり IRI が採用されている⁴⁾。

IRI は、路面の仮想基準線に生じた凹凸である路面プロファイルに基づく指標であり、その調査方法は、測定方式によりクラス1~4に分類される^{1),5),6)}。クラス1は静的な、クラス2は動的なプロファイラと呼ばれる縦断プロファイル測定装置を用い、プロファイル測定値から IRI を算出する方式である。一方、クラス3は車両の振動加速度などの任意の尺度から、クラス4は調査員の体感や目視から IRI を推測する方式である。そのため、日本国内に限っても、平坦性調査の需要増加に伴い、多種多様な IRI 測定装置が開発・実用化されている⁷⁾。その結果、平坦性調査における IRI の測定精度が非常に重要な問題となり、測定装置の有効性検証に関する取り組みが近年盛んに行われている^{8),9)}。

路面測定装置の測定精度に関する検証では、「真のプロファイル」と呼ばれる基準プロファイルを得ることが必要不可欠であり、一般にはクラス1プロファイラによる方法や、異なる装置の組み合わせによる方法が用いられる。しかし、前者の場合、基準となる装置自体の精度が不明であり、後者の場合、各機器の誤差が累積する可能性が考えられる。また、測定装置と路面の接点における、テクスチャやひび割れの影響も無視できないことが知られている¹⁰⁾。そのため、現行のクラス1の定義自体が不十分であるとの指摘もなされている¹⁰⁾。

そこで、本研究は、IRI 調査を目的とした測定装置の精度検証に資する、クラス1プロファイラの測定特性と基準プロファイルの測定方法について検討する。特に、本研究では、クラス1方式の代表である水準測量と米国 Face 社の Dipstick による測定方法を対象とし、北海道北見市の北見地区農道離着陸場で実施した路面調査結果を用いた検討を行う。



図-1 標尺と路面の接地状況



図-2 Dipstick による測定状況

2. 路面調査の概要

(1) 調査路面

路面調査は、北海道北見市の北見地区農道離着陸場で行った。離着陸場の滑走路延長は 800m であり、その内の 200m 区間を測定対象とした。

(2) 調査方法

a) 水準測量

水準測量は、分解能 1/10mm で標高の測定が可能な電子レベルおよびバーコード標尺を用いた。また、レーザーセンサを用いたプロファイラ検証への応用を鑑み、標尺と路面が点接触となるよう、標尺下部にピンボールを取り付けた。標尺と路面の接地状況を図-1 に示す。なお、水準測量のサンプリング間隔は、後述の Dipstick に合わせ 250mm とした。

b) Dipstick

Dipstick は、傾斜計を用い、一定の縦断距離ごとに分解能 1/10mm で路面凹凸の測定が可能な装置である。ま

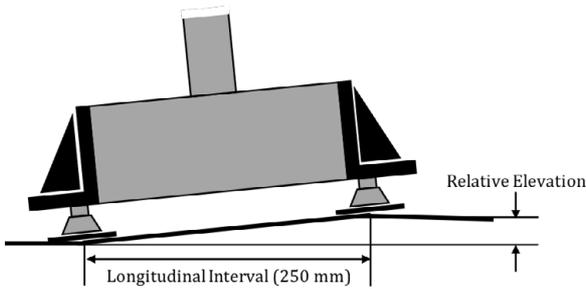


図-3 Dipstick の測定原理

た、平坦性に影響しないテクスチャやひび割れの影響を低減するため、路面との接地面には直径 64mm の円盤が取り付けられている。Dipstick による、路面プロファイルの測定状況を図-2 に、測定原理を図-3 に示す。Dipstick は、装置下部のアタッチメントにより、縦断方向の測定間隔を調整可能であるが、本研究では、IRI 調査を目的とするため、250mm として測定を行った。

3. 測定結果

(1) プロファイル

水準測量および Dipstick による路面プロファイルの測定結果を図-4 に示す。ここで、路面のプロファイルは、様々な波長で構成され、測定する機種によって、対象とする波長特性が異なる。水準測量は、基準点からの高低差を測点毎に記録するため、縦断線形を構成する長波長成分まで測定可能である。一方、Dipstick は、平坦性調査を対象とした装置であり、250mm 毎に傾斜計で測定された相対高さを記録する。そのため、水準測量と Dipstick で得られた路面形状は類似しているものの、終点側で標高差が生じたものと考えられる。

次に、得られたプロファイルの波長特性を把握するため、パワースペクトル密度 (PSD: Power Spectrum Density) を算出し比較した。図-5 に PSD の算出結果を示す。図より、水準測量と Dipstick で、長波長域での傾向は等しいが、波数 0.3m^{-1} (波長: 3.3m) 以上で PSD 形状に相違が見られ、特に波数 0.6m^{-1} (波長: 0.36m) 以上で著しく振幅差が生じる結果となった。

(2) IRI

水準測量および Dipstick により得られた路面プロファイルから算出した IRI を図-6 に示す。図中、IRI は、ProVAL¹¹⁾を用い、基底長 10m で連続算出した。図より、IRI 測定値の再現性は、水準測量が、Dipstick に比べ高い傾向にあり、延長 200m の平均値で、水準測量の 2.6mm/m に対し、Dipstick が 2.1mm/m と、約 20%の差が生じた。ここで、IRI に影響するプロファイルの波長は 1.2~30m (波数: $0.03\sim 0.83\text{m}^{-1}$) であり、図-5 に示す PSD より、波数 0.6m^{-1} (波長: 0.36m) 以上での差異により生じたものと考えられる。この差異に関する原因と対策については、次章で考察する。

4. 基準プロファイルの測定方法

水準測量と Dipstick による測定方法について、測定原

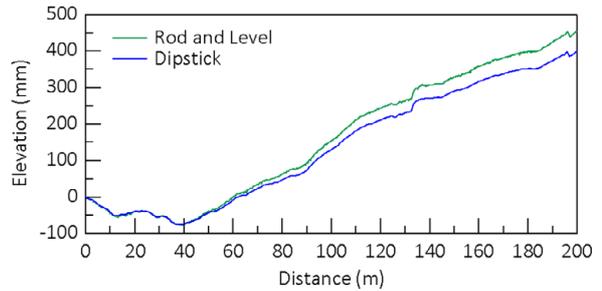


図-4 路面プロファイルの測定結果

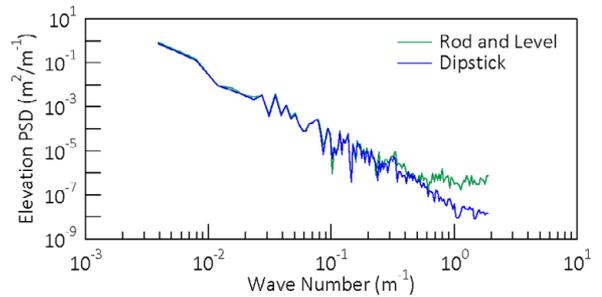


図-5 路面プロファイルの PSD

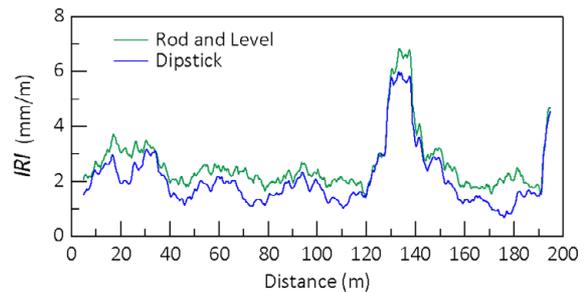


図-6 路面プロファイルから算出した IRI

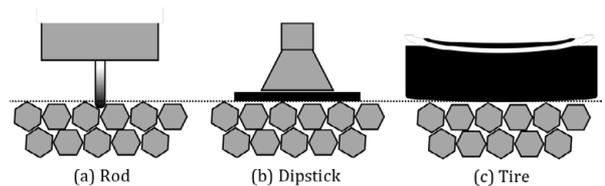


図-7 測定装置と路面との接点に関する模式図

理以外に異なる点は、測定装置と路面との接点によるものである。本章では、水準測量と Dipstick に生じた差異に関し、測定装置と路面との接点の観点から検証し、基準プロファイルの測定方法について検討する。

(1) 接地面の影響

図-7(a)および(b)に示す通り、水準測量はピンポールを、Dipstick は円盤を介し路面と接する。そのため、水準測量では、レーザーセンサによるプロファイル測定と同様に¹⁰⁾、路面テクスチャが測定結果に影響を及ぼしているものと考えられる。そこで、比較のため Dipstick の円盤による平滑化効果について、路面プロファイルに基底長 64mm の移動平均フィルタを適用した場合を考

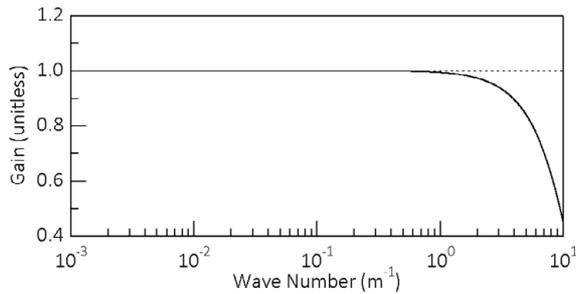


図-8 Dipstick 接地面の平滑化特性

え、理論的にその波長検出特性の検証を行った。図-8に基底長 64mm の移動平均フィルタの特性を示す。図より、波数 0.6m^{-1} (波長: 0.36m) 付近から、入力に対する出力ゲインが下がりはじめており、図-5におけるPSDの差異と整合する。このことから、水準測量とDipstickに生じた差異は、接点の違いによるものであるといえる。ここで、*IRI* は、図-7(c)に示す通り、タイヤの接地面を考慮した平坦性指標である。そのため、*IRI* の算出を目的とする場合、基準プロファイルの測定では、Dipstickのように、凹形状となるネガティブテクスチャの影響を排除することが望ましいといえる。そこで、次節では、水準測量結果から、テクスチャの影響を取り除くことで、*IRI* 算出を目的とした基準プロファイル測定の妥当性について検証する。

(2) テクスチャの影響を考慮した *IRI* 算出

前節において、水準測量とDipstickの差異は、測定装置と路面の接点におけるテクスチャの影響であり、*IRI* 算出を目的とした場合、ネガティブテクスチャを排除する必要性が示唆された。プロファイルの測定結果からテクスチャ成分を取り除くためには、フィルタ処理による平滑化が考えられる。しかし、測定装置と路面との接点を考えた場合、凹形状のみに反応する指向性をもった特殊なフィルタが必要となる¹⁰⁾。そのため、タイヤと路面の接点のみを抽出するフィルタや¹²⁾、特定の路面形状にのみ応答するフィルタ¹³⁾が提案されている。本研究では、Dipstickと同様の接地状況を模擬するため、水準測量とDipstickによるプロファイルの測定結果から、*IRI* に影響を及ぼす波長域 $1.2\sim 30\text{m}$ (波数: $0.03\sim 0.83\text{m}^{-1}$) で測点毎に差分を求め、水準測量結果が負となる箇所を除去するようフィルタ処理を行った。

図-9にネガティブテクスチャをフィルタ処理した結果を示す。図中、わかりやすさのため、 $10\sim 20\text{m}$ の区間を抽出した。図より、フィルタ処理後のプロファイルでは、凹形状が取り除かれ、Dipstickと類似のプロファイルとなっていることが確認できる。また、プロファイルのPSDを図-10に、*IRI*を図-11に示す。図-10より、プロファイルに含まれる短波長の影響は完全に除去されていないが、これは、凸形状を残し凹形状のみを平滑化した結果によるものと考えられる。図-11より、*IRI*の算出結果は大きく改善され、延長 200m の平均値で、Dipstickの 2.1mm/m に対し、フィルタ処理後の水準測量

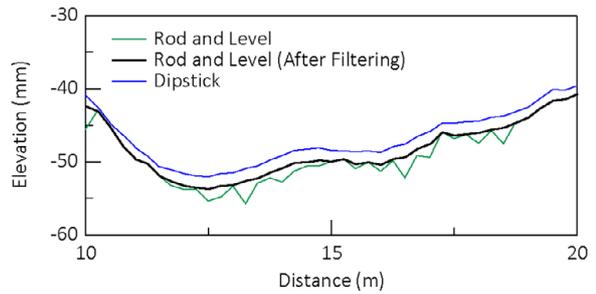


図-9 ネガティブテクスチャ処理後のプロファイル

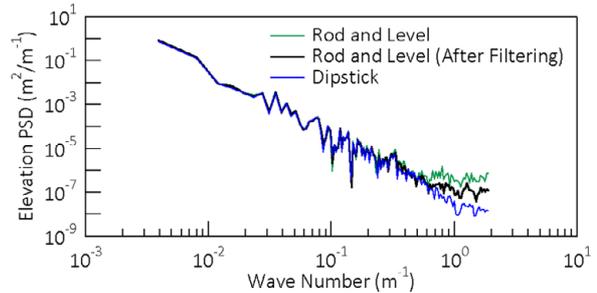


図-10 ネガティブテクスチャ処理後の PSD

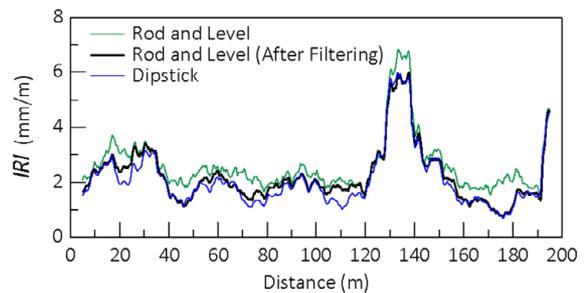


図-11 ネガティブテクスチャ処理後の *IRI*

が 2.2mm/m と、差が 5% 以下となった。水準測量とDipstickの測点を完全に一致させることは困難であり、この結果はクラス1プロファイルの再現性として妥当なものであると考えられる。

(3) *IRI* 算出を目的とした基準プロファイルの測定

以上より、*IRI* 算出を目的とした路面プロファイルの測定では、測定装置と路面との接点における、凹形状のネガティブテクスチャが結果に影響を及ぼすことが明らかとなった。テクスチャが*IRI* 算出に及ぼす影響は、事後的な対処も可能であるが、完全に除去することは困難である。そのため、*IRI* 算出を目的とした基準プロファイルは、装置と路面が面で接する状態で測定することが望ましい。ただし、この結果は、プロファイルの測定間隔が 250mm の場合であり、短い測定間隔と接地面の大きさによっては、必要以上の平滑化となる可能性があるため注意が必要である。

5. おわりに

近年、平坦性調査の重要性が高まる中で、*IRI* が標準

指標として採用されるなど、平坦性の測定は大きな転換期を迎えている。今後、舗装の維持更新時代における適切な路面診断や、性能規定方式の発注に伴う性能評価の重要性を考えると、IRI 調査を目的とした装置に対する測定精度の保証は、極めて重要になるものと考えられる。このような背景の中で、本研究は、IRI 調査を目的とした測定装置の精度検証に資する、クラス1プロファイラの測定特性と、基準プロファイルの測定方法について明らかにしたものである。様々な路面測定装置の開発・導入が活発化している昨今、本研究成果は、測定結果の妥当性を検証する上で極めて重要な役割を果たすものと期待できる。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 15K20843 および 2628167 の助成を受けたものである。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 日本道路協会：舗装調査・試験法便覧，丸善，2007.
- 2) 東・中・西日本高速道路株式会社：設計要領 第一集 舗装編，高速道路総合技術研究所，2015.
- 3) 国土交通省道路局：舗装点検要領（案），2016
- 4) 江口利幸，富山和也：建設工事の出来形基準における IRI の適用性，舗装，Vol.51，No.6，pp.9-16，2016.
- 5) Sayers, M.W.: On the Calculation of IRI from Longitudinal Road Profile, *Transportation Research Record*, No.1501, pp.1-12, 1995.
- 6) Sayers, M.W.: Profiles of Roughness, *Transportation Research Record*, No.1260, pp.06-111, 1990.
- 7) 中村博康，富山和也，城本政一，増戸洋幸，渡邊一弘：IRI 共通試験（TRUE プロジェクト）実施報告，アスファルト，第 57 巻，230 号，2015.
- 8) 富山和也，中村博康，増戸洋幸，城本政一，渡邊一弘：共通試験結果に基づく路面プロファイラの有効性とその検証方法，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.71，No.3（舗装工学論文集第 20 巻），I_9-I_16，2015.
- 9) 富山和也，川村彰，江口利幸，寺田剛，渡邊一弘：平坦性評価に要する低速プロファイラの測定精度とその検証に関する視点と方法，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.72，No.3（舗装工学論文集第 21 巻），I_27-I_35，2016.
- 10) Sayers, M.W. and Karamihas, S.M.: *The Little Book of Profiling, -Basic Information about Measuring and Interpreting Road Profiles*, The University of Michigan Transportation Research Institute, 1998.
- 11) <http://www.roadprofile.com>（2016 年 12 月 1 日アクセス）.
- 12) Karamihas, S.M.: *Critical Profiler Accuracy Requirements*, The University of Michigan Transportation Research Institute, 2005.
- 13) Tomiyama, K., Kawamura, A., and Ishida, T.: Improving the Quality of Profile Measurements by Lifting Wavelet Filters, *Proceedings of Transportation Research Board*, Vol. 92, No. 13-3405, 2013.