

体感乗り心地に基づくわだち掘れ評価指標の妥当性検証

Validation of evaluation index for rutting based on subjective ride quality rating

北見工業大学大学院	○学生員	富山和也 (Kazuya Tomiyama)
北見工業大学工学部	正会員	川村 彰 (Akira Kawamura)
(独)寒地土木研究所	正会員	石田 樹 (Tateki Ishida)
北見工業大学工学部	正会員	高橋 清 (Kiyoshi Takahashi)

1. はじめに

舗装わだち掘れは、車両挙動に影響し乗り心地や安全性を低下させるなど、路面供用性能低下の原因となるため、国内外問わず、路面のモニタリングや維持・補修における重要項目となっている¹⁾。従来、舗装マネジメントにおいて、わだち掘れは、車両のハンドル特性に及ぼす影響や、帯水によるハイドロプレーニング問題など利用者の安全性や、舗装構造や材料特性に関する検討が主であり²⁾⁴⁾、乗り心地に関連したものは数少ない。

現在、多くの道路管理機関は、わだち掘れ深さにより、わだち掘れの評価・管理を行なっているが、わだち掘れ深さの算出手法および定義は管理機関ごとに異なる⁵⁾⁸⁾。しかし、いずれの定義も、利用者の安全性や舗装の構造特性に着目しており、乗り心地の観点に立脚したものは見受けられない。また、わだち掘れ深さは、横断プロファイルにおける、算出定義ごとに決められた基準点と車輪通過位置における最深部の変位のみで定まる。そのため、路面プロファイルの波状特性を考慮しておらず、乗り心地に影響を及ぼす車両挙動を把握することは困難である⁹⁾。

上述の背景から、筆者らは、横断プロファイルの波状特性に基づくわだち掘れ評価指標（調整わだち掘れ量）を提案し、乗り心地と関連する車両挙動評価値との高い相関を確認している¹⁰⁾。ここで、調整わだち掘れ量は、(1)乗り心地に影響する横断プロファイルの波状特性成分を、差分によるバンドパス・フィルタ（以下「BPF」）により抽出し、(2)BPF処理後のプロファイルの最大振幅により定義される。

本研究は、ドライビングシミュレータ（以下「DS」とする）を用いた体感試験による主観評価に基づき、調整わだち掘れ量の、乗心地評価における妥当性検証を目的とする。

2. 調整わだち掘れ量の概要

本章では、乗り心地に影響するプロファイルの波状特性、および調整わだち掘れ量の算出方法について述べる。

2.1 横断プロファイルの波状特性

プロファイルの波状特性とは、路面が有する基本的特性（平坦性やテクスチャ）や他への波及効果（すべりやタイヤの摩耗）等を示す特性を、路面波長ごとに表したものである。縦断プロファイルについては、PIARCの路面性状に関する技術委員会 C1 による報告が代表的

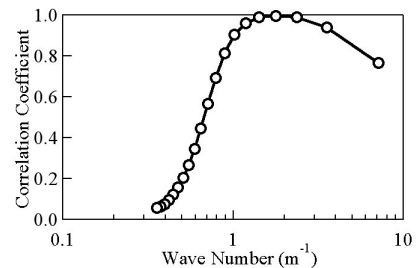


図-1 車両振動と横断プロファイルの振幅との相関¹⁰⁾

であり、平坦性と乗り心地の関係を表す波長等が示されている¹¹⁾。横断プロファイルの波状特性としては、波長 0.33-0.67m（波数 1.5-3.0m⁻¹）が、車両挙動に影響を及ぼし、中でも、時速 80km での乗り移り走行条件において、波長 0.4m（波数 2.5m⁻¹）が車両振動を増幅させ、乗り心地低下の原因となることがわかっている¹⁰⁾。ここで、速度条件は、縦断プロファイルと合わせた路面評価を鑑み、IRI (International Roughness Index)算出時¹²⁾と同様の値である。図-1 に、車両振動と波長帯域分割した横断プロファイルの振幅との相関関係を示す。図より、波数 1.5-3.0m⁻¹ の範囲での相関が極めて高いことがわかる。

2.2 波状特性成分の抽出方法

調整わだち掘れ量の算出では、比較的簡単に BPF 処理が行なえることから、差分による BPF を用いる。差分による BPF は、式(1)の通り、ある測定プロファイル $x(n)$ ($n=1,2,3,\dots$) に対し、ある 2 点間の差分をとることで、特定の波長成分を抽出することが可能である。

$$y(n) = \frac{x(n-d) - x(n+d)}{2} \quad (1)$$

ここで、 $y(n)$ は BPF 処理後のプロファイルであり、 d は、(検出対象波長の相当するデータ点数-1)/2 である。ここでは中央差分をとったが、データ点数が 2 で割り切れない場合には、前方差分もしくは後方差分を用いる必要がある。BPF における検出対象波長は、上述の波状特性を考慮し 0.4m である。差分による BPF の検出特性を図-2 に示す。図より、波数 2.5m⁻¹（波長 0.4m）の成分が抽出されることがわかる。また、波数 8.0m⁻¹（波長 0.125m）の成分も抽出されるが、波数 4.0m⁻¹ 以上では、プロファイルの振幅は小さく、乗り心地評価への影響は無視できる¹⁰⁾。図-3 に、BPF 処理前後の横断プロファイルの一例を示す。

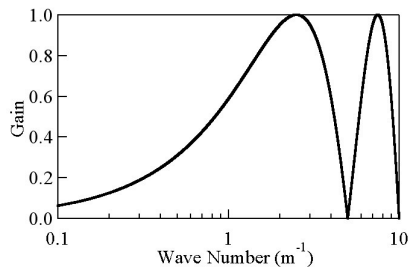


図-2 差分によるバンドパス・フィルタの検出特性

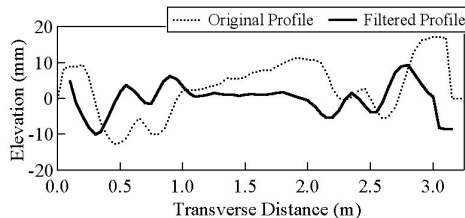


図-3 差分によるバンドパス・フィルタ処理例

2.3 調整わだち掘れ量の算出

調整わだち掘れ量は、BPF 処理後のプロファイルにおける、標高の最大値と最小値の差、すなわち最大変位で定義される。

$$RD_{adj} = y_{max} - y_{min} \quad (2)$$

ここで、

RD_{adj} : 調整わだち掘れ量 (mm)

y_{max} : BPF 処理後のプロファイル高さの最大値 (mm)

y_{min} : BPF 処理後のプロファイル高さの最小値 (mm)

3. 体感乗り心地に基づく調整わだち掘れ量の検証

調整わだち掘れ量は、乗り心地に関連した車両挙動評価値との高い相関が確認されている¹⁰⁾。本章では、DS による体感試験から得られた、被験者の主観評価値に基づき、調整わだち掘れ量の、乗心地評価における妥当性について検証する。

3.1 路面評価型 DS

体感試験を実施するにあたり、実道における試験では、被験者の安全性や必要とされる路面条件の確保の観点から多くの困難をとまう。一方、DS を用いた体感試験では、安全性の確保や実験条件の容易な設定、同一条件で繰り返し試験が行えるなど多くの利点を有する事から、近年高い注目を集めている¹³⁾。北見工業大学の所有する DS (以下「KITDS」) は、安全運転教育や景観評価といった従来の機能に加え、実路面プロファイルの再現が可能な路面評価型 DS である。KITDS 固有の機能により、これまで困難とされていた路面損傷に起因する車両の振動乗り心地評価の、安全かつ効率的な実施が可能となった。なお、KITDS において、わだち路を乗移り走行した際の振動再現性について検討した結果、高い再現性が得られることが確認されている¹⁴⁾。そこで、本研究では、KITDS を用い、体感乗り心地評価試験を実施した。図-4 に KITDS の外観を、図-5 に KITDS における仮想試験路を示す。



図-4 KITDS の外観



図-5 KITDS における仮想試験路

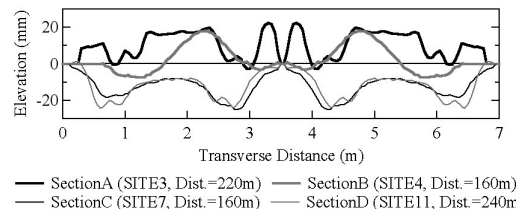


図-6 試験に用いた横断プロファイル

(0)内は EVEN 試験での測定箇所)

3.2 体感評価試験概要

(1) 被験者

被験者として、試験目的に同意の上、成人男女 8 名の協力を得た。なお、DS によるわだち掘れの体感評価事例がなく、事前に被験者数の算定が困難であったため、事後解析により評価精度の検証を行った。全ての被験者は、本試験で使用した走行シナリオの初体験者であり、被験者ごとの試験条件は全て等しくし、室温や照明等の試験環境は極力等しくした。

(2) 路面条件

路面プロファイルデータは 1998 年に日本で行われた路面平坦性に関する PIARC 国際共通試験 (通称「EVEN 試験」)¹⁵⁾結果の一部を利用した。わだち掘れ形状は一般に、「流動性」と「摩耗性」、「デュアル」と「シングル」に大別される。そこで、これらの組み合わせによる 4 断面を、わだち掘れ深さがピーク法で算出した際 25mm となるよう選出した (図-6)。路面は乾燥路を想定 (摩擦係数 $\mu=0.75$) し、横風などの外乱はないものとする。また、平坦路においても、同様の試験を実施した。なお、路面条件の提示順序は、振動の残留効果を低減するため、被験者ごとに無作為に提示した。

(3) 走行試験および評価

わだち掘れに起因する車両挙動への外乱は、車両が車線を乗り移る際に顕著に現れる。そこで、走行条件は、ISO (International Organization for Standardization)に規定

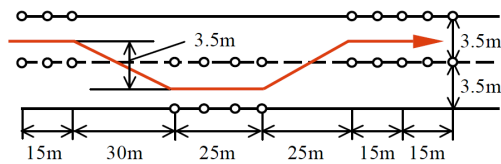


図-7 ダブル・レーンチェンジ試験

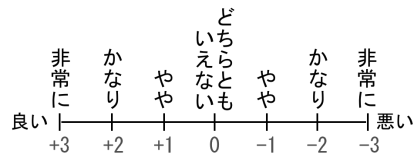


図-8 体感乗り心地評価指標

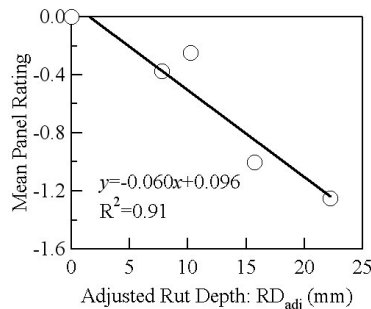


図-9 調整わだち掘れ量と体感乗り心地の相関

される、ダブル・レーンチェンジ試験（ISO3888-1）とした¹⁶⁾。試験方法の概要を図-7に示す。評価方法は、各走行終了後直ちに、図-8に示すラインスケールを用い、乗り心地に関するアンケートにより行った。なお、図中、+3～-3は、評価を数値化したものであり、試験に用いたアンケート用紙には記していない。

3.3 調整わだち掘れ量と乗り心地評価値の相関

調整わだち掘れ量と体感評価平均値（MPR: Mean Panel Rating）の相関関係を図-9に示す。図より、両者は比例関係にあることがわかる。また、単回帰分析を行ったところ、決定係数 $R^2=0.91$ （相関係数 $R=0.95$ ）と高い相関が得られた。ここで、有意水準 5%において無相関検定を行ったところ、統計的検出力 98%で有意となった。よって、体感による乗り心地評価精度は、統計的に妥当である¹⁷⁾。以上より、調整わだち掘れ量は、体感評価値と相関が高く、乗り心地に基づくわだち掘れ評価指標として妥当であるといえる。

4. まとめ

従来、路面管理に用いられるわだち掘れ深さは、横断プロファイルの波状特性を考慮しておらず、わだち掘れに起因する車両乗り心地予測が困難であった。一方、調整わだち掘れ量は、乗り心地と関連する横断プロファイルの波状特性を考慮した指標である。本研究では、DSを用いて、わだち路上での体感試験を実施し、調整わだち掘れ量の、乗り心地評価における妥当性について検証した。その結果、調整わだち掘れ量は、体感乗り心地と相関が高く、わだち掘れの乗り心地評価における指標と

して妥当との知見を得た。

参考文献

- 1) 笠原篤：舗装マネジメントシステム，土木学会論文集，No.478/V-21，pp.1-12，1993.
- 2) Start, M.R., Kim, J., and Berg, W.D.: Potential Safety Cost-Effectiveness of Treating Rutted Pavements, Transportation Research Record, No. 1629, pp. 208-213, 1998.
- 3) Shahin, M.Y: Pavement Management for Airports, Roads, and Parking Lots. Springer, 2006.
- 4) Mallick, R.B., and El-Korchi, T.: Pavement Engineering Principles and Practice. CRC Press, 2009.
- 5) 高速道路総合技術研究所：路面のわだち掘れ測定方法，JHS225-2005，2006.
- 6) McGhee, K.H.: Automated Pavement Distress Collection Techniques, NCHRP Synthesis 334, 2004.
- 7) Miller, R.W., Vedula, K., Hossain, M., and Cumberland, G.: Assessment of AASHTO Provisional Standards for Profile Data Collection and Interpretation, Transportation Research Record, No. 1889, pp. 134-143, 2004.
- 8) Simpson, A. L.: Characterization of Transverse Profiles, FHWA-RD-01-024, 2001.
- 9) Tomiyama, K., Kawamura, A., Alimujiang Y., Ishida, T., and Nakajima, S.: Basic Study on Rut Shape Characteristics in consideration of vehicle Dynamics, Proceedings of Fifth International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control (MAIREPAV5), CD-ROM, 2007.
- 10) 富山和也，川村 彰，高橋 清，石田 樹：車両乗り心地予測のためのわだち掘れプロファイル評価指標の開発，土木学会舗装工学論文集，第 14 巻，pp. 171-178，2009.
- 11) 川村 彰：講座・路面の評価(1)-平坦性に着目して-，舗装，Vol.36，No.8，pp.31-35，2001.
- 12) Sayers, M.W.: On the Calculation of IRI from Longitudinal Road Profile, Transportation Research Record, No. 1501, pp.1-12, 1995.
- 13) 川村 彰：ドライビングシミュレータを用いた道路研究の可能性，道路建設，No. 687，pp.62-63，2005.
- 14) Tomiyama, T., Kawamura, A., and Shirakawa, T.: Evaluation of the pavement rutting used by KITDS, Proceedings of DSC Asia/Pacific 2006, CD-ROM, 2006.
- 15) Kawamura, A., Takahashi, M. and Inoue, T.: Basic Analysis of Measurement Data from Japan in EVEN Project, Transportation Research Record, No.1764, pp.232-242, 2001.
- 16) ISO: Passenger cars -Test track for a severe lane-change manoeuvre, Part1: Double lane-change, ISO3888-1 (1999), 1999.
- 17) 吉田寿夫：心理学研究法の新しいかたち，誠信書房，2006.