

Bicycle Ride Index を用いた自転車の 振動乗り心地に基づく路面管理手法の検討

岡部光樹¹・高橋清²・富山和也³・萩原亨⁴

¹ 学生会員 北見工業大学 (〒090-8507 北見市公園町 165 番地)

E-mail : m1952200061@std.kitami-it.ac.jp

² 正会員 北見工業大学 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

³ 正会員 北見工業大学 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

⁴ フェロー 北海道大学大学院 工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

我が国では、全国的にサイクルツーリズムを推進しているため、自転車走行環境の改善が求められる。しかし、自転車走行環境に大きく影響する路面平坦性の評価手法は確立されていない現状にある。そこで、本研究では、振動台を用いて体感評価実験を行うことで、先行研究で使用した路面プロファイルとは異なる特性を持つデータを使用した場合の、乗り心地との関係性を把握した。また、構築した評価指標を用いて路面管理手法の検討を行った。その結果、構築した評価指標は振動台のデータを適用した場合でも自転車の乗り心地を反映できることが明らかとなった。さらに既存研究をもとに路面管理の基準となる値を求め、良い路面及び悪い路面を判断する基準値を提案した。

Key Words : Road surface characteristics, Ride quality, Road surface evaluation, Bicycle Ride Index

1. はじめに

近年、サイクルツーリズムが注目されており、自転車走行環境の改善に向け、ルート案内板の設置やイベント・ルート情報の発信など様々な取り組みが行われている。中でも、サイクルツーリズムを推進するうえで、自転車の安全性・快適性に関わる路面平坦性の向上は、サイクリストにとって極めて重要であることが技術情報誌等で示されている^{1,2)}。しかし、自転車からみた路面平坦性の評価手法は、既存研究³⁾で検討されているが、確立されたものはない。そのため、走行環境の改善に向けた舗装に対する取組は、ほとんど行われていない現状にある。

既存の路面評価指標として、国際ラフネス指数 (*IRI*: *International Roughness Index*) が国際的に用いられている。これは自動車からみた路面評価指標として、世界銀行から提案されたものである。*IRI* はクォーターカー・モデルと呼ばれる、2 軸 4 輪のうち、1 輪を取り出した 2 自由度の車両振動モデルが、80 km/h で走行した際のサスペンションストローク累積値を走行延長で正規化した値と定義され、路面プロファイルから路面平坦性を評価できる指

標である^{4,5)}。しかし、現在行われている路面評価は、主に車道を対象としており、自転車の走行が想定される車道の左側端の路面評価事例は数少ない。

自転車からみた路面平坦性の評価に関する研究として佐々木ら⁶⁾は、*IRI* を用いた自転車走行時の乗り心地評価の可能性を検証した。しかし、*IRI* は自動車の振動特性がもとに構築されているため、自転車の乗り心地を反映しない結果がみられた。このことから、*IRI* は自転車からみた路面評価には適さないことが確認された。よって、新たに自転車版の路面評価指標を構築する必要があることが示唆された。

そこで、渡辺ら⁷⁾は、新たに自転車振動モデルを開発するため、北海道北見市のオホーツク地域創生研究パークにて、自転車で実道を走行した際の振動特性の把握を行った。これにより、自転車前輪部を対象とした 1 自由度系の自転車振動モデルを開発した。しかし、モデルによる上下加速度の再現性は低く、より精度の向上が求められる結果となった。これを受け、佐々木ら⁸⁾は、自転車を振動試験装置に載せて加振することで、自転車の振動特性の把握を試みた。実験の結果、2 自由度系の振動モデルを

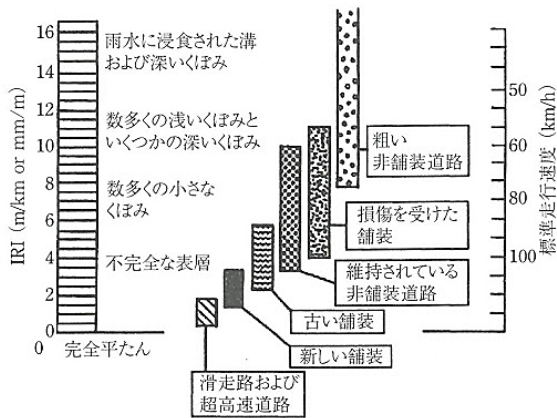


図-1 IRI スケール¹⁰⁾

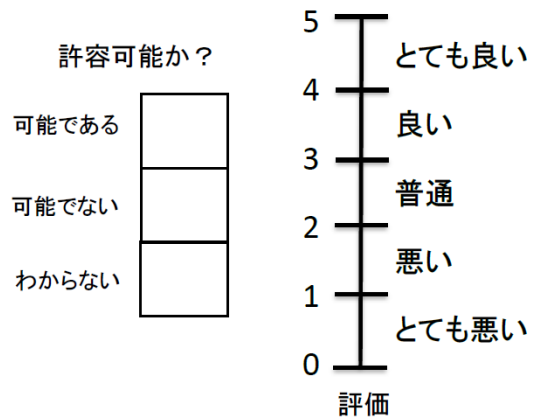


図-2 アンケート様式¹¹⁾

開発し、振動試験装置上のデータで 10~30 Hz の上下加速度を再現できることが確認された。

これを受け、先行研究⁹⁾では、実道の路面プロファイルを用いた場合の再現性を検証した。その結果、実道のプロファイルでも上下加速度を高く再現できることが明らかとなった。さらに、開発された自転車振動モデルを用いて自転車版の路面評価指標として *BRI* (*Bicycle Ride Index*) の構築を試みた。その結果、*BRI* は自転車の乗り心地を反映していることが明らかとなり、自転車からみた路面評価の指標に適用できることが示唆された。しかし、*BRI* の値に対する路面水準の判断基準は明らかになっていない。

既存の評価尺度に、図-1 に示す *IRI* スケール¹⁰⁾がある。この図は未舗装道路から滑走路など平坦性の高い道路まで、縦断方向の凹凸を同一の尺度で表現している。今後、自転車走行路の路面管理を行うためには、*IRI* スケールのような、サイクリストにとって維持・修繕が求められる道路であるか判断する基準が必要となる。

そこで、本研究では、振動試験装置に載せた自転車に人が乗り、自転車を加振した際の乗り心地評価を取得する振動台体感評価実験を行い、以下の検討を行う。

- (1) 先行研究⁹⁾で使用した路面プロファイルとは異なる特性を持つ振動台のデータを用いて、*BRI* と乗り心地の関係性を把握する。
- (2) 構築した *BRI* を用いて自転車走行時の乗り心地に基づいた路面管理手法の検討を行う。

2. *BRI* の算出方法⁹⁾

先行研究では、自転車版の路面評価指標の構築を目的に、自転車で実道路面を走行し、その時の乗り心地を評価する自転車体感評価実験を行った。本章では、実験の概要と *BRI* の構築方法について説明する。

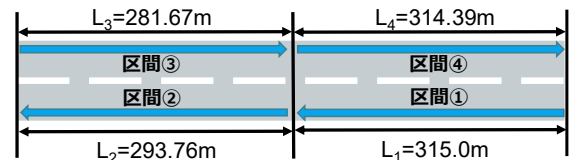


図-3 試験路面図

(1) 実験概要

a) 実験実施日と参加者

本実験は 2018 年の 10 月 6 日 8 日に実施した。また、実験には、22 名が参加した。全被験者のうち、男性 20 名、女性 2 名、年代は、20 代が 19 名、30 代、50 代、60 代が 1 名ずつであった。平均体重は 66.4 kg で、標準偏差は 8.0 kg あった。全被験者の大多数が、シティサイクルの乗車経験がある。

b) 主観評価アンケート調査

本実験では、被験者が 1 区間走り終えるごとに、振動に対する乗り心地の評価を 5 段階 (5:「とても良い」、4:「良い」、3:「普通」、2:「やや悪い」、1:「悪い」) で行った。また、振動に対して「許容可能である」、「可能でない」、「わからない」の 3 つの選択肢を設定し、調査した。アンケート調査は AASHO Rating Form¹¹⁾に倣い、図-2 に示す様式で行った。

c) 路面プロファイルの概要

本実験は、道道の生活道路において、図-3 に示されるように 4 つの試験路面を設定した。路面延長は、300 m を目安に自転車に搭載したサイクルコンピュータにより測定した。本研究では、MMS (Mobile Mapping System) で取得した路面プロファイルを用いて *BRI* を算出した。MMS とは、路面プロファイルおよび周辺構造物の三次元点群データを取得可能な移動体計測装置である¹²⁾。路面プロファイルのサンプリング間隔は 0.01 m である。

d) 実験に用いる自転車

自転車は主に、シティサイクルとスポーツサイクルに



図-4 自転車の種類¹³⁾

表-1 パラメーター一覧⁸⁾

| | |
|---------------------|-------------|
| ばね下質量 m_1 | 13(kg) |
| ばね上質量 m_2 | 27(kg) |
| 車体ばね定数 k_1 | 205288(N/m) |
| ばね上ーばね下間のばね定数 k_2 | 106592(N/m) |
| ばね上ーばね下間の減衰係数 c_2 | 271(N・s/m) |

分類される。さらにスポーツサイクルの中でも、クロスバイクとロードバイクの2種類に分類される。自転車の種類を図-4に示す。本研究で対象とするサイクルツーリズムでは、スポーツサイクルの中でも、クロスバイクが多く用いられている。クロスバイクは長距離、長時間の移動に適しており、シティサイクルと比べ、質量が軽い傾向にあり、走行中、乗員はハンドルへ体重をかける姿勢をとるのが、一般的な乗り方である。また、ロードバイクと比べ、スポーツサイクルの経験が少ない場合でも乗りこなしの容易な自転車である。本実験では、モデル開発時と同様に一般的なクロスバイク (TREK : FX3) を使用した。ボトムブラケット中心軸からシートチューブ上端の長さであるフレームサイズは44.5 cm (17.5 インチ)¹⁴⁾、質量は10.3 kg であり、タイヤの空気圧は、標準的な値として8.0 気圧とした。

e) 加速度計取り付け位置

走行時の上下加速度を計測するため、走行時に乗員が最初に振動を受け、乗員の体重が大きくかかるハンドル部に加速度計 (株式会社リオン : PV-90B) を取り付けた。加速度計のサンプリング間隔は上下加速度を記録するデータレコーダー (リオン株式会社 : DA-21) の設定に従い、十分な精度で上下加速度を計測できるよう1280 Hz に設定した。

f) 走行条件

サイクルツーリズムにおける自転車走行は、長時間かけた低速での走行が考えられる。このとき、乗員が無理なく走行できる平均的な速度¹⁵⁾として、走行速度を15 km/h 程度と設定した。走行速度は自転車に取り付けたサイクルコンピュータにより、走行中も乗員が把握できるようにした。走行位置は車道左側端付近と設定し、データレコーダーをリュックに入れ、そのリュックを背負った状態で走行した。

(2) BRI の算出方法

BRI の定義は、15 km/h で走行した際の、ばね上質量とばね下質量の相対変位の累積値を、走行距離で除した値とした。この定義のもと、自転車振動モデルに路面プロファイルを入力し、シミュレーションを実行することで、自転車走行時のばね上とばね下の変位を算出する。シミュレーションを行う際の運動方程式は式(1)、(2)で表される。

$$m_1 \ddot{y}_1 = k_1(u - y_1) + k_2(y_2 - y_1) + c_2(\dot{y}_2 - \dot{y}_1) \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{y}_2 = k_2(y_1 - y_2) + c_2(\dot{y}_1 - \dot{y}_2) \quad (2)$$

ここで、 m_1 : ばね下質量 (kg)、 m_2 : ばね上質量 (kg)、 \ddot{y}_1 : ばね下の上下方向加速度 (m/s^2)、 \dot{y}_1 : ばね下の上下方向速度 (m/s)、 y_1 : ばね下の上下方向変位 (m)、 \ddot{y}_2 : ばね上の上下方向加速度 (m/s^2)、 \dot{y}_2 : ばね上の上下方向速度 (m/s)、 y_2 : ばね上の上下方向変位 (m)、 u : 路面変位 (m)、 k_1 : 自転車車体のばね定数 (N/m)、 k_2 : ばね上ーばね下間のばね定数 (N/m)、 c_2 : ばね上ーばね下間の減衰係数 (N・s/m) である。なお、路面プロファイルをモデルに入力する際は、15 km/h における時間領域に換算した。また、シミュレーションに使用するパラメータはモデル開発時に設定した値とし、その値を表-1に示す。また、シミュレーションを行う際には、自転車のハンドル部において乗り心地に影響する10~30 Hz の振動に相当する波長を対象にバンドパスフィルタを路面プロファイルに適用した⁹⁾。さらに走行時のタイヤの接地長は実測により0.15 m であることが確認されているため、0.15 m のローパスフィルタを適用し、路面プロファイルの平滑化を行った。シミュレーションのサンプリング間隔は1000 Hz とし、BRI の評価区間長は、各区間の全延長とした。BRI の計算式は式(3)で表される。

$$BRI = \frac{1}{L} \int_0^{L/V} |\dot{y}_2 - \dot{y}_1| dt \quad (3)$$

ここで、 \dot{y}_1 : ばね下の上下方向速度 (m/s)、 \dot{y}_2 : ばね上の上下方向速度 (m/s)、 L : 評価区間長 (m)、 V : 走行速度 (m/s)、 t : 時間 (s) である。

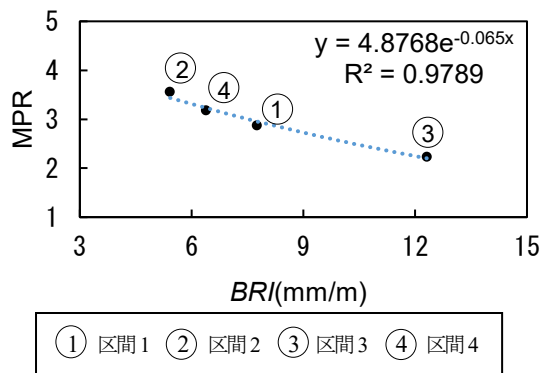


図-5 BRI と乗り心地の関係性



図-6 実験の様子

(3) 決定係数の算出方法

算出した BRI と乗り心地の関係性を分析するため、実験結果から算出された主観評価平均値 (MPR : Mean Panel Rating) を目的変数, BRI を説明変数として決定係数を算出する。本分析では近似曲線が 1 に漸近するよう、決定係数は指数近似で算出する¹⁶⁾。その際、分析に用いるデータを対数変換して線形回帰にて算出した。

(4) BRI の算出方法と乗り心地との関係性

区間ごとの BRI に対する MPR をプロットし、決定係数を算出した結果を図-5 に示す。結果から、 BRI は主観評価が悪くなるほど、大きく算出される傾向が示され、決定係数が高く算出された。よって、 BRI は自転車の乗り心地を反映した指標であることが明らかとなった。しかし、本分析では、4 つの路面データのみで結果を算出している。そのため、使用した路面プロファイルとは異なる特性を持ったデータを用いてさらに分析する必要がある。そこで次章では、道道のプロファイルとは異なる特性を持つデータを用いた分析を行う。

表-2 振動試験装置仕様

| | | |
|--------|------|-----------------------|
| 振動数 | 垂直方向 | 5~3000 Hz |
| | 水平方向 | 5~3000 Hz |
| 最大搭載重量 | 垂直方向 | 1961 N |
| | 水平方向 | 4903 N |
| 最大振幅 | | 56 mm (全振幅) |
| 最大加速度 | | 1067 m/s ² |
| 最大加振力 | | -16 kN |

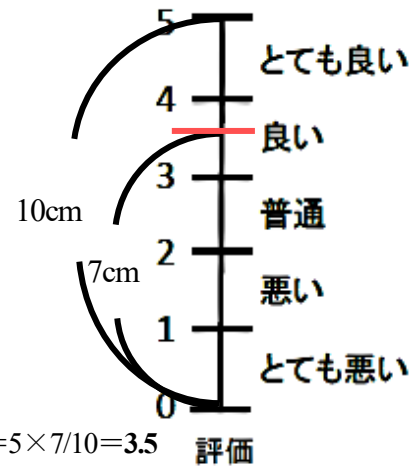


図-7 アンケート記入方法

3. 振動台を用いた体感評価実験

前章では、自転車版の路面評価指標を構築し、 BRI は自転車の乗り心地を反映していることが確認された。そこで、道道のプロファイルとは異なる特性を持つデータを取得するため、自転車を振動台に載せて加振し、その時の乗り心地を評価する振動台体感評価実験を行った。本章では、その実験の概要と分析方法について説明する。

(1) 実験概要

a) 実験実施日と振動試験装置

本実験は、2020 年の 3 月 2 日、3 日に地方独立行政法人北海道立総合研究機構工業試験場で行い、振動試験装置 (エミック(株): F-16000BDH/LA16AW) を用いて実施した。表-2 に装置の仕様を、図-6 に自転車加振実験の様

子を示す。本実験は、北見工業大学の人を対象とする研究倫理審査の承認 (自転車走行を考慮した路面評価システムの構築, 承認番号: 1023)¹⁷⁾ を受けて、実施した。

b) 実験参加者

本実験には、14 名が参加した。全実験参加者のうち、男性 11 名、女性 3 名、年代は、20 代が 12 名、30 代、50 代が 1 名ずつであった。全参加者がシティサイクルまたは、スポーツサイクルの乗車経験がある。参加者の平均体重は 66.4 kg であり、標準偏差 9.3 kg であった。

c) 主観評価アンケート調査

本実験では、自転車の加振を終えるたびに、振動に対する乗り心地の評価を行った。乗り心地の評価方法は、リッカート尺度に基づき、図-7 に示す通り、アンケート様式

表-3 加振条件

| 周波数帯 | 5~50 Hz | | | | |
|------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | 振動1 | 振動2 | 振動3 | 振動4 | 振動5 |
| RMS(m/s ²) | 0.158 | 0.474 | 0.748 | 1.204 | 1.871 |
| 加振時間 | 24 秒 | | | | |

の0~5の間に線を引くこととし、長さの比から主観評価を数値化した。

d) 加振条件

本実験での加振条件を表-3に示す。本研究の先行研究⁹⁾では、自転車の乗り心地には10~30Hzの振動が影響することを明らかにした。そこで、振動の周波数帯を10~30Hzを含む5~50Hzとした。振動加速度はISO2631-1¹⁾に示される快適性基準の閾値に基づき、5つの加速度を設定し、参加者1人毎に各振動加速度で加振した。加振時間は15km/hで100mの走行を想定し、24秒とした。

e) 加振位置

自転車の前輪部分を、振動試験装置に取り付けた平板治具(600mm角)の上に乗せ、前輪を垂直方向に加振させることで加振実験を行った。

f) 加速度計取付位置

本実験では、加振時の上下加速度を計測する。自転車の乗り心地は先行研究⁹⁾によりハンドル部の振動が影響することが示唆されているため、ハンドル部と、振動試験装置上の2か所に加速度計(株式会社リオン:PV-90B)を取り付けた。加速度計の取り付け位置を図-8に示す。加速度計のサンプリング間隔は1280Hzに設定した。上下加速度の計測は、設定した振動加速度の出力が安定してから停止するまでの振動を計測した。

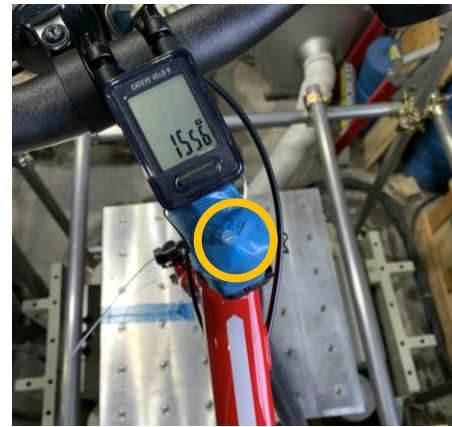
g) 実験に用いる自転車

本実験では、2章で述べた実験と同様のクロスバイクを使用した。実験時のタイヤも同様の8.0気圧とした。振動試験装置への自転車の固定は、後輪にサイクルスタンドを取り付けた後、事前に設置した足場に、動かないように固定した。

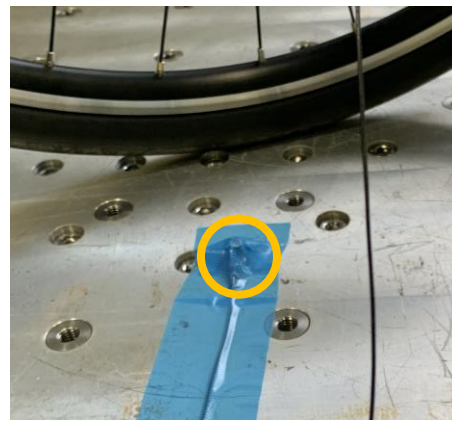
(3) 入力データの生成

a) 加速度データの変換

BRIを算出する際には、先行研究で開発された自転車振動モデルを用いてシミュレーションを行う。このとき、モデルに入力するデータは変位データである必要がある。そこで、MATLABのcumtrapz関数を用いて累積台形数値積分を行う。これにより、実験より得られた振動試験装置上の上下加速度データを変位データに変換した。その際、加速度データをそのまま積分すると、データに混在する計測ノイズなどの影響から、実際とは異なる応答になる可能性がある。そのため、加速度データを積分する前と一



(a) ハンドル部



(b) 振動試験装置上

図-8 加速度計取付位置

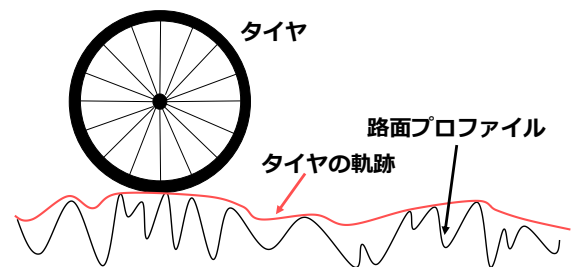


図-9 路面プロファイルとタイヤの軌跡

階積分後にそれぞれ、5~30Hzのバンドパスフィルタを適用した。

b) タイヤの変位と路面プロファイルの関係

振動台実験で取得した振動試験装置上の上下加速度データは、自転車が実際に走行していないことや、加振中、タイヤが浮いていないことから、タイヤの振動と同期していると考えられる。また、実道を走行したときのタイヤの軌跡は、図-9に示すように路面プロファイルの包絡線になると考えられる。そこで、オホーツク地域創生研究パークで行った実験で取得した路面プロファイルの包絡線と、走行時のタイヤの変位の比較を行った。包絡線の算出には、MATLABのhilbert関数を用いる。なお、hilbert関数で算出した包絡線には、虚数が含まれるため、算出し

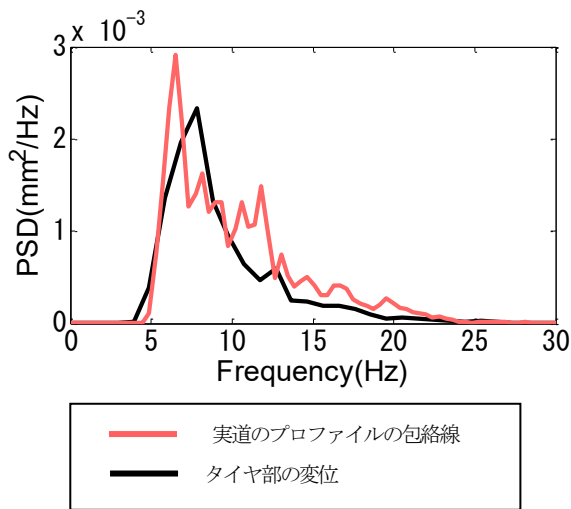


図-10 包絡線とタイヤの振動の比較

た値の絶対値を包絡線として用いた。また、包絡線を算出する前後で、5～30Hzのバンドパスフィルタを適用した。実道の路面プロファイルの包絡線とタイヤの変位を図-10に示す。縦軸は振幅の2乗を示すパワースペクトル密度(PSD: Power Spectrum Density)である。図-10から、実道のプロファイルの包絡線、タイヤ部の変位共に5～10Hzの間でピークを取り、周波数が高くなるに従い、振幅が小さくなる傾向を示していることが確認された。よって、振動試験装置上で取得したデータは実道の包絡線に値すると考えられる。そこで、先行研究で使用した道路の路面プロファイルの包絡線を求め、そのデータを用いてBRIを算出し、振動台実験のデータとの比較を行った。

(4) BRIの算出方法

生成した入力データを自転車振動モデルに入力し、BRIを算出する。BRIの算出方法は先行研究と同様とした。また、入力するデータには、評価指標を構築した時と同様に10～30Hzのバンドパスフィルタと、0.15mのローパスフィルタを適用した。BRI計算時のサンプリング間隔は0.01mを15km/hで走行した際の周波数に換算した値である417Hzとし、走行距離は、加振時間の24秒を15km/h走行した際の距離に換算し、100mとした。

4. 振動台実験の解析結果

3章では、振動台を用いた体感評価実験の概要と分析方法について説明した。本章では、実験から得られたデータを用いて乗り心地とBRIの関係性を把握する。さらに、既存研究をもとに、BRIによる路面管理手法を検討する。

(1) アンケート調査結果

アンケート調査結果をもとに振動加速度毎にMPRを

表-4 アンケート調査結果

| | 振動1 | 振動2 | 振動3 | 振動4 | 振動5 |
|-----|------|------|------|------|------|
| MPR | 4.72 | 3.74 | 2.76 | 2.50 | 1.68 |

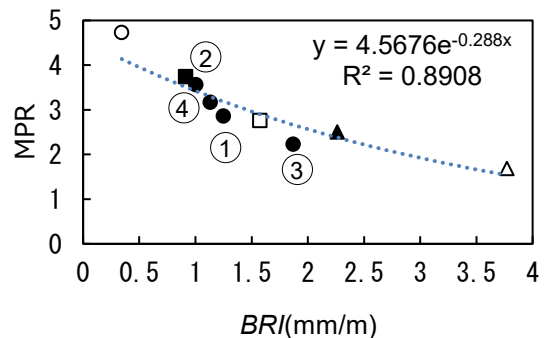


図-11 BRIと乗り心地の関係性(包絡線)

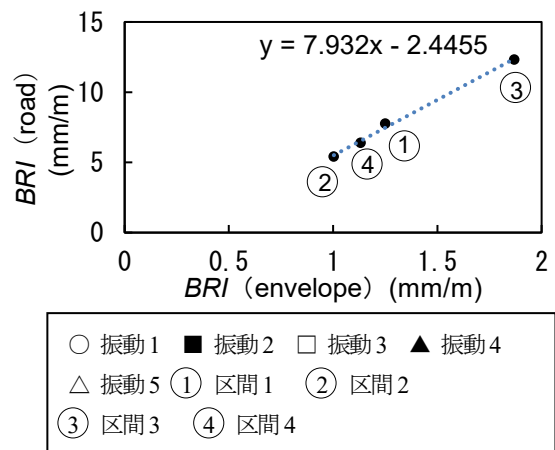


図-12 包絡線と実道のBRIの関係性

算出した結果を表-4に示す。なお、MPRを算出する際は、体感評価実験の結果と比較するため、主観評価 x を5段階($0 \leq x < 1$) = 1, ($1 \leq x < 2$) = 2, ($2 \leq x < 3$) = 3, ($3 \leq x < 4$) = 4, ($4 \leq x \leq 5$) = 5)で統一した。

(2) 包絡線のBRIと乗り心地の関係性

包絡線を用いてBRIをそれぞれ算出した結果とBRIとMPRの決定係数を算出した結果を図-11に示す。なお、分析においても、決定係数を算出する際は、MPRを目的変数、BRIを説明変数とする。また、両データを対数変換して線形回帰にて算出した。結果から振動台と実道の結果を合わせても、全体として高い相関がみられた。しかし、BRIは実道の路面プロファイルを基準として算出する必要があるが、包絡線から実道のプロファイルを算出することは難しい。そこで、包絡線とその元となる路面プロファイルのBRIから相関式を求め、その式を用いて実道を想定した振動台のBRIを算出する。まず、包絡線と元となる路面プロファイルのBRIの関係性を図-12に示し、相関式を式(4)に示す。

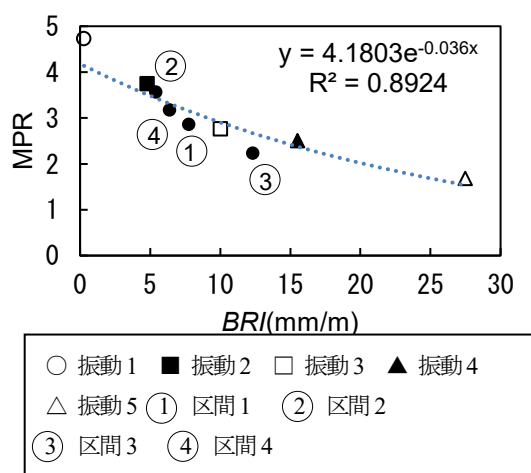


図-13 BRIと乗り心地の関係性(実道想定)

$$y=7.932x-2.4455 \quad (4)$$

ここで、 y : 実道を想定した BRI (mm/m), x : 振動試験装置上の上下加速度から算出された BRI (mm/m) である。図-12 で得られた式(4)の x に図-11 の BRI の値を代入し、実道を想定した振動試験装置上の BRI を算出した。なお、 BRI の定義上、 BRI は正の値のみで算出されるため、式(4)で代入した結果として負の値で算出された場合は、 BRI を 0 とした。実道を想定した振動試験装置上の BRI を算出し、MPR との決定係数を算出した結果を図-13 に示す。図-13 から BRI と主観評価に高い相関があることが示され、 BRI が大きく、もしくは小さく算出された場合でも乗り心地を反映していることが明らかとなった。そこで、次節では、 BRI を用いた路面管理基準の検討を行う。

(3) BRI の基準値の算出

熊田ら¹⁹⁾の研究では、50%以上が乗り心地に対して「良い」または「とても良い」と回答された区間の IRI を抽出し、そのうちの中央値より IRI が小さい路面を「良い路面」とした。さらに50%以上が「悪い」または「とても悪い」と回答された区間の IRI の中央値を基準とし、その中央値より IRI が大きくなる路面を「悪い路面」とした。そこで本分析においても、振動台を用いた体感評価実験で設定した5つの振動加速度のうち、50%以上が「良い」または「とても良い」(主観評価 ≥ 3)と回答された振動加速度を抽出する。そして、抽出した振動加速度から算出された実道を想定した BRI の中央値を良い路面の基準とする。さらに悪い路面の基準も50%以上が「悪い」または「とても悪い」(主観評価 < 2)と回答されている振動加速度を抽出し、 BRI の中央値を求める。路面管理の基準値の算出に用いた実道を想定した振動試験装置上の BRI とそれに対する主観評価をプロットした図を図-14 に示す。図-14 の縦軸は実験参加者毎の主観評価を示している。

抽出された振動加速度と BRI の中央値を表-5 に示す。

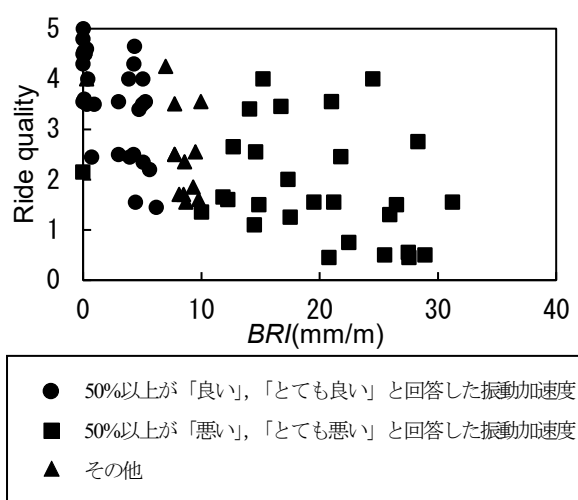


図-14 路面管理基準値の算出に用いた BRI と主観評価

表-5 路面の基準値

| | 良い路面 | 悪い路面 |
|-------------------|--------|--------|
| 抽出された振動 | 振動1, 2 | 振動4, 5 |
| BRI の中央値 (mm/m) | 1.97 | 20.15 |

結果として、良い路面、悪い路面共に2つの振動加速度が抽出され、良い路面と悪い路面の基準となる BRI が算出された。しかし、本分析における良い路面と悪い路面の定義やその結果の妥当性について、今後更なる解析を行い、検討していく必要がある。

5. おわりに

本研究では、構築した評価指標もとに BRI と乗り心地の関係性の把握や BRI による路面管理基準の検討を試みた。本研究により得られた知見を以下に示す。

- (1) 振動台実験の結果を実道のデータと併せ、データの数を多くした場合でも BRI と主観評価で高い相関がみられた。よって BRI は、自転車の乗り心地を評価できるものと考えられる。
- (2) 既存研究をもとに構築した評価指標を用いて路面評価の基準となる BRI を算出し、良い路面と悪い路面を判断する一つの基準を提案した。

以上の結果から BRI は平坦性の高い路面から低い路面まで幅広く適用でき、自転車走行路の乗り心地に関する路面管理に寄与するものといえる。しかし、路面管理の基準値を算出した際は、5パターンの振動加速度のみで解析を行ったため、さらに路面データを用いて路面評価の基準値を求める必要がある。また、本研究で行った実験は主に20代の若年者を対象としたものであったため、サイクリストの属性による乗り心地評価の特性も考慮し、良い

路面, 悪い路面の定義についても検討する必要があると
考えられる。これらの課題を踏まえ, *BRI* を用いた路面評
価の手法を確立することで, 本研究は, 自転車走行路の実
態調査を可能にし, 自転車走行環境の改善に寄与するも
のとなる。

謝辞: 本研究は JSPS 科研費 18K04379 の助成を受けたも
のである。また, 本研究の実施に際し, 大林道路株式会
社の森石一志氏, 北海道開発局の佐々木優太氏, フューチャ
ーアーキテクト (株) の渡辺健太氏には多大な助力を受け
た。ここに謝意を表す。

参考文献

- 1) 日本道路協会: 自転車利用整備のためのキーポイント, 丸
善出版, 2013.
- 2) 北海道道路管理技術センター: 北の交差点, Vol.37, 2019.
- 3) 居駒薫樹, 浅田拓海, 有村幹治, 亀山修一: 車載カメラ動
画による自転車走行時の振動不快感推定手法の開発, 土木計
画学研究発表会・講演集, Vol.58, 2018.
- 4) 土木学会: 舗装工学の基礎, 丸善出版, 2012.
- 5) Sayers, M. W. and Karamihis, S. M.: *The Little Book of Profiling,
- Basic Information about Measuring and Interpreting Road
Profiles*, The University of Michigan, 1998.
- 6) 佐々木優太, 渡辺健太, 高橋清, 萩原亨, 富山和也: 路面
平坦性に着目した自転車走行環境の評価に関する研究, 第
72 回年次学術講演会講演集, 2017.
- 7) 渡辺健太, 萩原亨, 高橋清, 富山和也, 佐々木優太: 自転車
走行路面の路面平坦性評価に向けた自転車振動モデルに関
する研究, 土木計画学研究発表会・講演集, Vol.56, 2017.
- 8) 佐々木優太, 高橋清, 富山和也, 萩原亨, 渡辺健太: 路面平
坦性評価のための自転車振動モデルの開発, 土木学会論文
集 E1 (舗装工学), Vol.74, No.3, I_85-I_93, 2018.
- 9) 岡部光樹, 高橋清, 富山和也, 萩原亨, 森石一志: 自転車振
動モデルを用いた路面平坦性の評価指標構築, 土木学会論
文集 E1 (舗装工学), Vol.75, No.2, I_67-I_75, 2019.
- 10) 池田拓哉, 東嶋奈緒子: 国際ラフネス指数の計測方法に関
する研究, 土木学会舗装工学論文集, 第 3 巻, 1998.
- 11) 土木学会: 路面のプロファイリング入門, 舗装工学ライブ
ラリー1, 2003.
- 12) 森石一志, 中村博康, 渡邊一弘: 三次元点群データを用いた
新たな路面評価手法の検討, 土木学会論文集 E1 (舗装工学),
vol.69, No.3 (舗装工学論文集第 18 巻), I_9-I_16, 2013.
- 13) ブリヂストーンサイクル HP: 自転車の製品情報,
<https://www.bscycle.co.jp/>
- 14) Trek Bikes HP: クロスバイクの製品情報,
https://www.trekbikes.com/jp/ja_JP/
- 15) Silvia Bernardi, and Federico Rupi.: An analysis of bicycle travel
speed and disturbances on off-street and on-street facilities,
Transportation Research Procedia 5 82 – 94, 2015.
- 16) 川村彰, 榎本友紀, 大野滋也, 佐藤正和, 鈴木一隆: 道路管
理者から見た高速道路の路面プロファイルについて, 土木
学会舗装工学論文集, 第 5 巻, 2000.
- 17) 北見工業大学 人を対象とする研究倫理審査結果決定通知
書, 令和 2 年 2 月 28 日付
- 18) ISO 2631-1 : 1997, Mechanical vibration and shock -- Evaluation
of human exposure to whole-body vibration -- Part 1: General
requirements.
- 19) 熊田一彦, 神谷恵三, 七五三野茂: 走行快適性に着目した舗
装路面の総合評価手法に関する検討, 舗装, 第 43 巻 7 号,
pp. 27-30, 2008.

(2020. 7. 2 受付)

EXAMINATION OF ROAD SURFACE MANAGEMENT METHOD BASED ON VIBRATION RIDE QUALITY OF BICYCLE USING BICYCLE RIDE INDEX

Mitsuki OKABE, Kiyoshi TAKAHASHI, Kazuya TOMIYAMA and Toru HAGIWARA

Since Japan is promoting cycle tourism nationwide, improvement of the bicycle running environment is required. However, the evaluation method of the road surface roughness that greatly affects the bicycle running environment is not established yet. By carrying out an experience evaluation experiment using a vibration table, the relationship with the ride quality when data with characteristics different from the road surface profile used in the previous research was used was grasped. Moreover, the road surface management method was examined using the constructed evaluation index. As a result, it was revealed that the constructed evaluation index can reflect the ride quality of the bicycle even when the data of the vibration table is applied. Furthermore, based on the existing research, we calculated the reference value for road surface management and proposed a reference value for judging good and bad road surfaces.