

自転車振動モデルを用いた路面評価の適用性に関する研究

北見工業大学	学生会員	○岡部	光樹
北見工業大学	正会員	高橋	清
北見工業大学	正会員	富山	和也
北海道大学大学院	フェロー	萩原	亨

1. はじめに

近年、外国人観光客の増加に伴い、全国的にサイクルツーリズムが注目されている。しかし、自転車走行時の快適性に関わる路面平坦性は、自転車からみた路面評価手法がないため、評価されていない現状にある。そこで本研究では、自転車からみた路面評価手法を構築するために、自転車振動モデルを開発し、その再現性検証を行う。また、自転車体感評価実験を行い、自転車の乗り心地と振動特性の関係性について明らかにすることを目的とする。

2. 自転車振動モデルの開発

路面評価に必要な自転車振動モデルを新たに開発するため、自転車加振実験を行った。実験は、自転車前輪部を加振させ、上下加速度の計測を行った。その結果、図-1 に示される周波数応答関数が算出され、共振域が2か所であることが明らかとなった。この結果を基に、図-2 に示される2自由度系の自転車振動モデルを開発した。

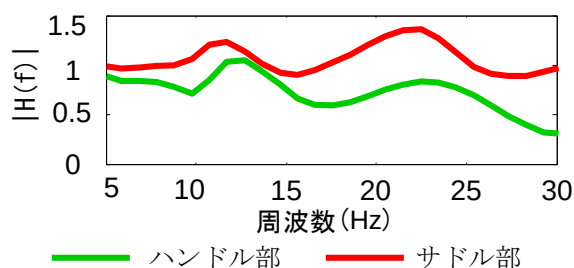


図-1 周波数応答関数

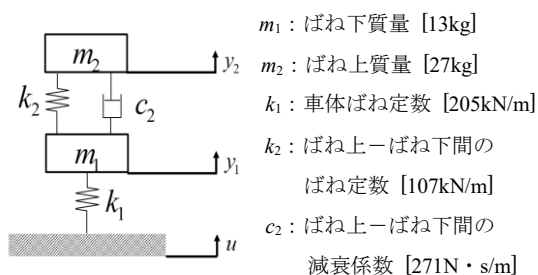
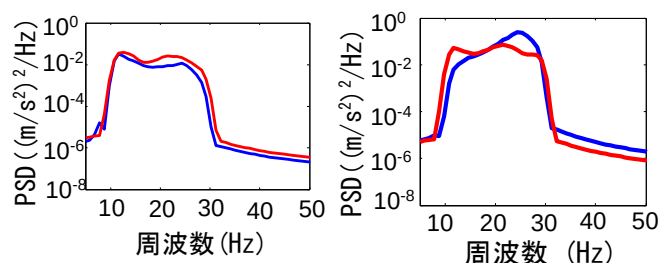


図-2 自転車振動モデル

3. 自転車振動モデル再現性の検証

(1) 振動試験装置上での再現性

開発したモデルの再現性を検証するため、本モデルに振動試験装置上のデータを適用し、上下加速度のパワースペクトル密度（以下、PSD）を算出した。その結果、図-3 に示されるように、10Hz～30Hz において高い再現性を持つことが示された¹⁾。



(a) ハンドル部 (b) サドル部

— 実測値 — シミュレーション値

図-3 PSD 結果

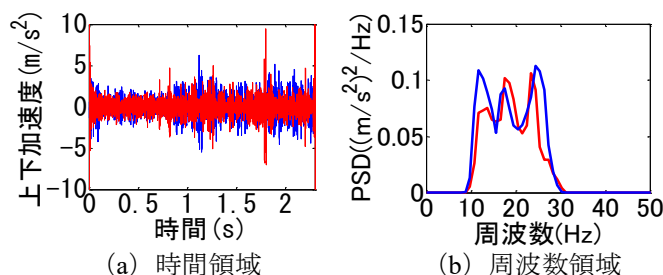
(2) 実路面での検証

本節では開発した自転車振動モデルに、実道路面のデータを適用した場合の再現性を検証する。本分析では、オホーツク地域創生研究パークに延長 100m の試験路面を設定し、サンプリング間隔 0.01m で測定した路面データをモデルに入力する。その後、上下加速度のシミュレーションを行い、ハンドル部における上下加速度を算出する。シミュレーションにより算出された上下加速度と試験路面を実際に 15km/h で走行したときの上下加速度の波形を比較し、再現性を検証する。なお、モデル開発時は 10Hz～30Hz の再現性を対象としていたため、使用する路面データと実測の上下加速度には 10Hz～30Hz のバンドパスフィルタを適用した。上下加速度のシミュレーション結果と実測値を図-4 に示す。時間領域では、一部シミュレーション値が過大に表現されたが、概ね振幅挙動が一致した。また、周波数領域では、図-3 の結果同様、10Hz～30Hz において、実測値

キーワード 自転車振動モデル、路面平坦性、乗り心地評価、路面評価指標

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町 165 北見工業大学 社会環境工学専攻 TEL 0157-26-9526

とシミュレーション値の振幅がほぼ一致した。よって開発したモデルは、実道路面を適用した場合でも 10Hz～30Hz において再現できることが明らかになった。



— 実測値 — シミュレーション値
図-4 シミュレーション結果

4. 自転車の乗り心地に対する振動特性の把握

(1) 自転車体感評価実験の概要

自転車の乗り心地を評価するには、振動モデルの開発だけではなく、乗り心地に影響する振動特性を把握する必要がある。そこで本研究では、自転車走行時の乗り心地と振動特性の関係を明らかにするため、自転車主観評価実験を行った。本実験は、北海道石狩市内の道道において、延長 300m の試験路面を 4 区間設定し、被験者 22 名が自転車で走行した。実験に使用する自転車のハンドル部、サドル部、タイヤ部の 3 ヶ所に加速度計を取り付け、走行時の上下加速度を計測した。また、振動に対する乗り心地を 5 段階で評価するアンケート調査を区間毎に行った。なお、主観評価は 5 で「とても良い」とし、1 で「とても悪い」とした。

(2) 上下加速度 RMS 値と乗り心地の関係性分析

本実験により得られた、走行時の上下加速度と主観評価を基に、走行時の乗り心地と振動特性の関係性を分析する。まず、上下加速度の振幅の平均値を示す上下加速度の 2 乗平均平方根（以下、RMS）を算出する。この上下加速度の RMS 値と主観評価の相関を分析することで、特定の周波数帯に限らず、振動の大きさが乗り心地に与える影響を把握する。また、本分析では、区間ごとに平均した主観評価と RMS 値の決定係数を算出する。なお、ここでは人へ直接振動を与えているハンドル部とサドル部に着目する。決定係数を算出した結果を図-5 に示す。ハンドル部とサドル部に大きな差はみられず、両結果とも、概ね RMS 値が大きくなるに従い、主観評価が低下する傾向がみられた。よって、ハンドル部とサドル部における振動が大きくなるほど、乗り心地が悪くなる傾向があることが明らかとなった。

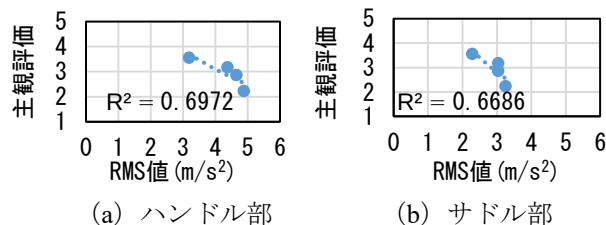


図-5 上下加速度の RMS 値と主観評価の相関

(3) 周波数領域でみた主観評価との相関

次にどの周波数帯が自転車の乗り心地に影響しているかを分析するため、人の体感評価を示す際に用いられる 1/3 オクターブバンド毎にハンドル部の上下加速度 PSD 値と乗り心地の関係性を分析した。本分析では、バンド No.2 から No.17（中心周波数 0.63Hz～50Hz）までの決定係数を算出する。なお、決定係数の算出は(2)節と同様に区間ごとに平均した主観評価と PSD 値を用いる。図-6 に中心周波数毎の決定係数を示す。この分析の結果、10Hz～30Hz 付近で、決定係数が約 0.8 と高い相関を持つことが示された。また、JIS B 7761-1 において、人は手や腕において 11Hz 付近の振動に対して感度が高いことが示されている。このことから、ハンドル部における 11Hz 付近の振動が乗り心地と高い相関を持つことは、妥当な結果であると考えられる。よって、10Hz～30Hz を再現できる本モデルは、乗り心地を考慮したモデルであり、路面評価に適用できることが明らかとなった。

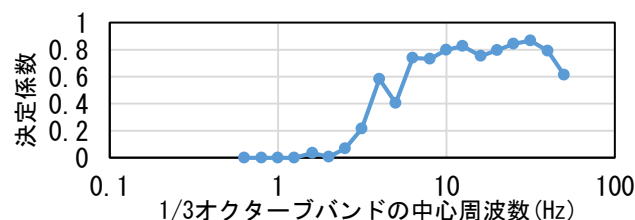


図-6 各中心周波数における決定係数

5. おわりに

本研究では、開発した振動モデルによる路面評価の適用性が明らかとなった。今後は、本モデルを用いて路面評価指標を構築し、さらに路面評価指標の、実路面への適用方法について検討する。

本研究は JSPS 科研費 18K04379 の助成を受けたものである。

参考文献

- 1) 佐々木優太ら：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。