

家用車内騒音・振動を用いた道路管理指数の推定

環境防災研究室 M2 長谷川 美季

指導教員 宮木 康幸

1. 研究背景・目的

自動車には、燃費等の環境性能、衝突安全や予防安全などの安全性等とともに、快適性としての乗り心地の向上が求められている。一般的に自動車で「乗り心地」という場合、車両の走行に伴う振動に対する快適性に加え、温湿度、ニオイ、明るさ、騒音、振動、車室内広さといった環境要因や、シートの座り心地、装備の使い勝手、運転のし易さなど、様々な要因が含まれる。乗り心地の評価は、古くは車両のフロア振動のみにより評価されていたが、その後の性能向上とともに、より精度の高い乗り心地評価が必要となり、シートなどの人間と車両インターフェース間における振動の計測や、人間の心理特性が考慮した評価が必要となった。

路面の維持管理手法は、主に2つある。日本では道路管理指数 MCI を用いている。しかし、MCI の取得には多大な費用がかかる。そこで、路面性状のデータ取得が困難な状況のため、車両走行中の車内に発生する騒音・振動を計測し、実際の MCI データと照らし合わせて路面性状との相関をしらべることにより、簡易かつ廉価な路面性状評価の手法を検証することを最終目標とした。騒音と振動を測定することで、騒音は総合的な把握を、振動は自動車操作とは無関係と考え、路面状況のみを表していると考えたためである。

そのため本年度は、鉛直方向振動加速度の測定データと MCI のデータにおける関連性を検証することを目的とした。本研究で騒音測定もしたが、データ取得がうまくいかなかったため主に加速度で検証する。

MCI とは、舗装の供用性を「ひびわれ率」、「わだち掘れ量」及び「平たん性(σ)」という路面性状値によって定量的に評価するものである。舗装の劣化形態は様々なものがあり、例えばひびわれ卓越型の劣化形態やわだち掘れ卓越型の劣化形態が存在する。「ひびわれ率」や「わだち掘れ量」といった単独指標では、それら劣化形態の異なる舗装の比較が困難である。そこで、昭和 56 年に建設省土木研究所が、道路局、地方建設局とともに、維持修繕判断を行い総合的な指標として開発されたものが MCI である。調査対象は直轄国道や地方自治体の主要幹線道であり、調査費用は 1km あたり 3~10 万円かかることとされている。MCI は、道路管理者の視点から異なる劣化形態の路面を見比べ、劣化の程度を点数により評価したのに対し、路面性状の主要指標である「ひびわれ率」、「わだち掘れ量」及び「平たん性(σ)」という路面性状値で重回帰分析することにより求められたものであり、以下の式のうち、最小値をもって MCI とすることとしている。

$$MCI = 10 - 1.48C^{0.3} - 0.29D^{0.7} - 0.47\sigma^{0.2}$$

$$MCI_0 = 10 - 1.51C^{0.3} - 0.30D^{0.7}$$

$$MCI_1 = 10 - 2.23C^{0.3}$$

$$MCI_2 = 10 - 0.54D^{0.7}$$

ここで、

$C =$ ひびわれ率[%] $D =$ わだち掘れ量[mm] $\sigma =$ 平たん性[mm]

式のとおり 10 点法を採用しており、舗装の劣化に伴い MCI は低下する。

2. 計測・分析方法

・計測機材

使用した自動車 車 1：ダイハツ エッセ 車 2：ダイハツ ムーブ
測定用機器 データレコーダー (RION DA-20)
騒音計マイク (RION NL-21)
校正器 (RION NC-74)
iPad

騒音計は車内助手席に設置して、計測を行った。騒音計の収録条件は、表 1 に示す。また、加速度を計測するスマートフォンは、助手席側のダッシュボード上に動かないようしっかりと固定し、計測を行った。車にスマートフォンを設置した際の、3 軸加速度センサ x, y, z 軸方向を図 1 に示す。振動加速度については、z 軸方向(鉛直方向)の振動加速度のみを対象とした。自動車走行は、できる限り 40km/h とした。

表 1 騒音計の収録条件

周波数レンジ	5kHz
サンプリング周波数	12800Hz (=5[kHz]×2.56)
入力レンジ	3 V

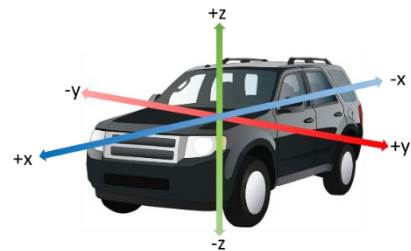


図 1 3 軸加速度センサ軸方向

3. 極端な路面性状を対象とした計測

路面舗装工事を行う路面において、車内音及び加速度の計測を実施し、どのような違いが生じるか検証した。使用する車は、車 1 である。検証した路面地点は、長岡技術科学大学付近である。測定時間を確保するため舗装工事を行う手前から測定を開始した。



図 2 極端な路面性状の路面の様子

打換え工事は、2017 年 9 月 25 日、26 日に行われた。測定は打換え前の 9 月 23 日、打換え後の 29 日に行った。

舗装工事前の MCI の値は、1.6 と非常に小さく路面状態はかなり悪い状態である。加速度の実効値を算出してみたところ値は 0.084 である。騒音も同様に算出したところ値は 0.191 となった。舗装工事後の路面の MCI の値は 10 とし、加速度の実効値を算出してみたところ値は 0.046 である。騒音も同様に算出したところ値は 0.136 となった。打換え前後で、実効値は騒音が 2/3 程度、加速度が 1/2 程度に変化した。これより、MCI が小さくなることにより実行値の値は大きくなることはいえる。

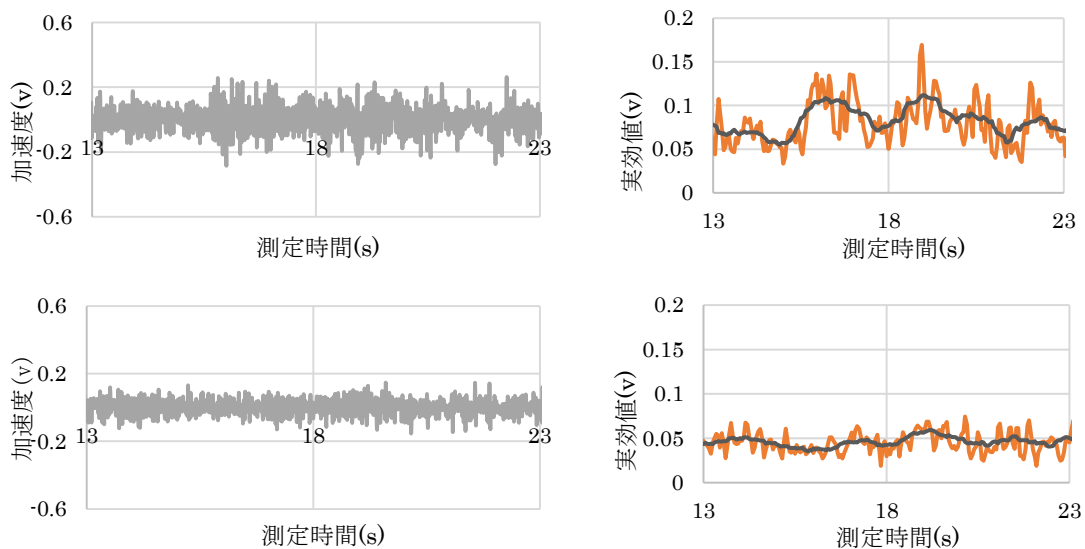


図2 加速度の測定データ，0.1sと1sの実効値（上：舗装工事前 下：舗装工事後）

この結果より実効値を用いたMCIの算出が期待できると考えた。そこで、異なったMCI値の道路において、振動加速度を計測し関係を求める。

4. 路面性状変化による計測

車内音に影響を及ぼしそうな路面において、車内音及び加速度の計測を実施し、どのような違いが生じるか検証した。使用する車は、車2である。検証した路面状態は、次の3つである。測定路面は、長岡市より借用した道路状態のデータのMCIをもとに検討した。

Case1. 道路管理指数MCIの違いによる路面

Case2. ひびわれ、わだち掘れの違いによる路面

Case3. 鉛直方向振動加速度における測定データの考察

長岡市土木部より借用した「平成25年度経防委第5号、第6号舗装点検業務委託報告書」より、路面性状一覧データには、MCIはもちろんMCI式に必要なひびわれ率、わだち掘れ量、平坦性のデータが記載されている。MCIの値と使われたMCI式の番号も確認できる。路線名称と位置が記載され、100m区間ごとのデータとなっている。

・借用データにおける路面性状調査の調査方法および解析・評価方法

現地調査	路面性状計測
評価単位	路面性状データ作成

借用したデータをもとに川西地区（平成25年度経防委第6号舗装点検業務委託報告書）についてMCIと各要素について分析した。データ数は1963個である。MCIの算出に用いた式は、①式と③式が多い。ひびわれ率、わだち掘れ量ともに値が小さいものが多い。MCIは6付近が一番多くなっていた。

測定は短時間で行い、1つの地点につき何箇所か測定することで測定データを増やした。振動加速度の測定データ数は100個を超えていますが分析は94個行った。

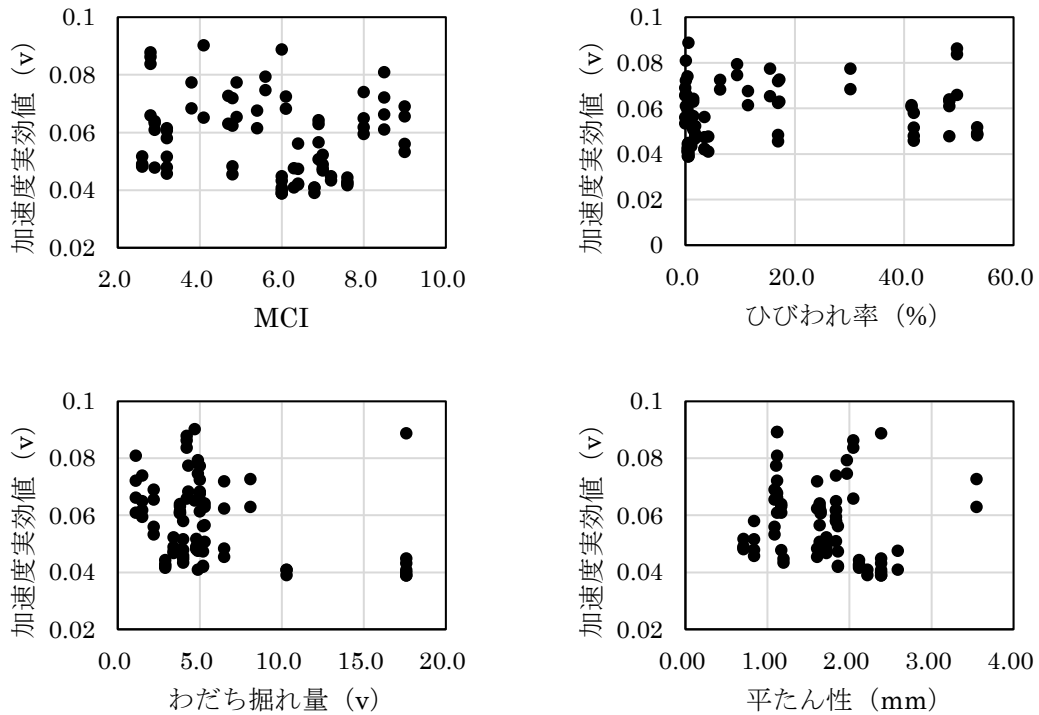


図3 MCI やそれぞれの要因と鉛直方向振動加速度の実効値の比較

図3のグラフは測定データ全ての鉛直方向振動加速度の実効値を計算し、プロットしたものである。プロット範囲が広くMCIにおける実効値の変化が現れなかった。ひびわれ率、わだち掘れ量、平たん性も相関関係は求められなかった。これにより、3つの要因を個別にわけて考えた場合も相関関係は求められなかった。

鉛直方向振動加速度の実効値を用いた相関関係は求められなかったため、考察を2つ示す。

考察1. タイヤ走行路面による振動加速度の相違

考察2. ひびわれ率と平たん性の2つの要因

考察1は、走行時のタイヤ位置により走行路面に変化があり、同じ道路を測定したとしても、測定データに変化があらわれると考える。考察2は、測定データはひびわれと平たん性の2つの要因により変化があらわれると考える。

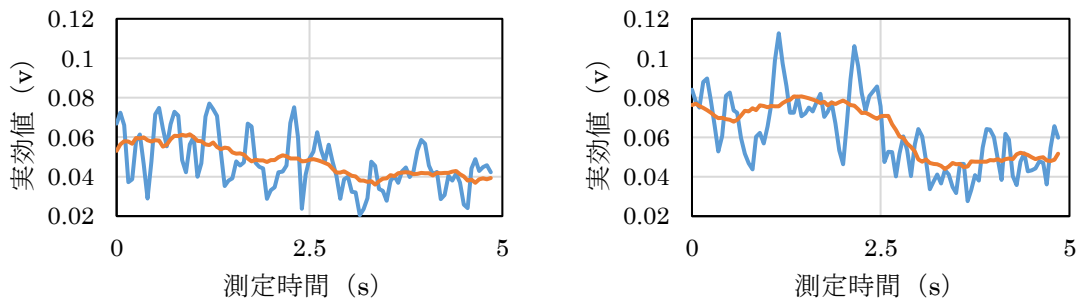


図4 同じ地点における鉛直方向振動加速度測定データ(MC12.9)

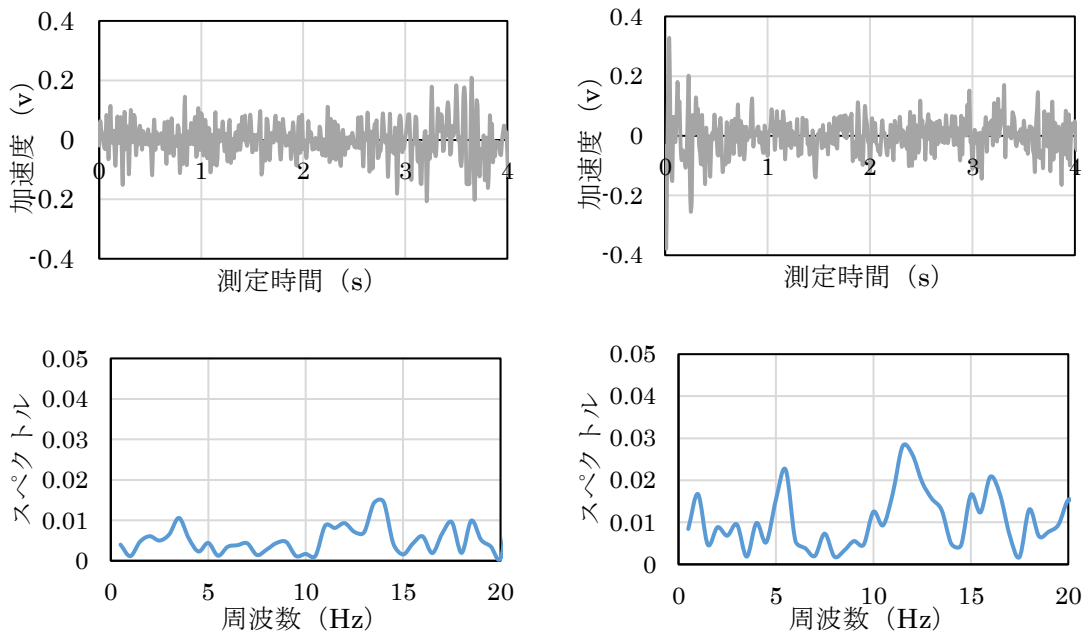


図5 平坦性分析における測定データとフーリエ変換
(左：平坦性 1.61 右：平坦性 3.55)

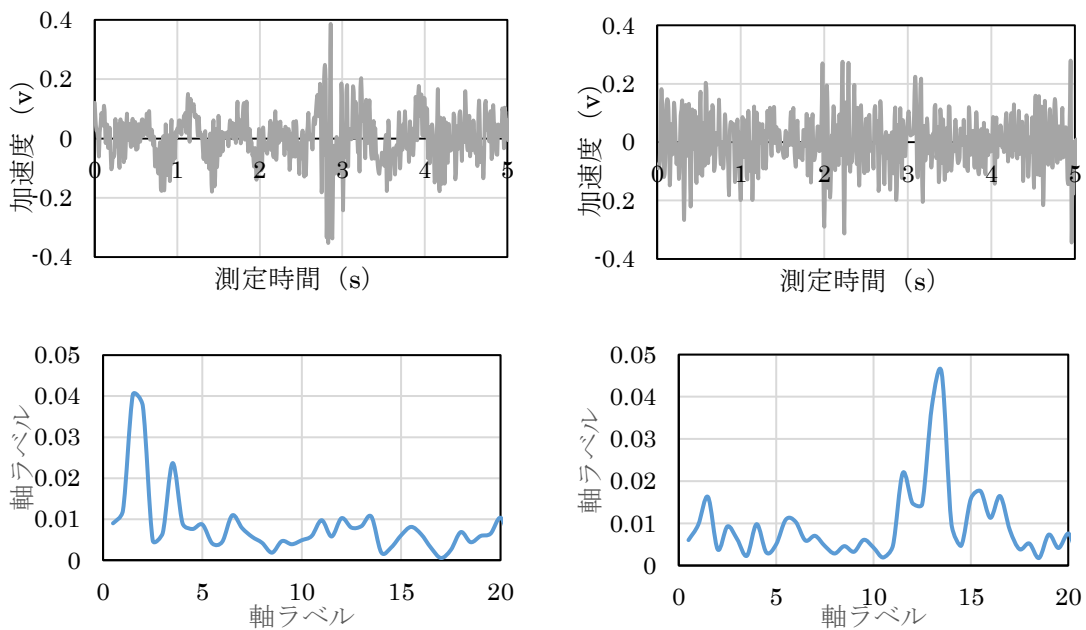


図6 ひびわれ率分析における測定データとフーリエ変換
(左：ひびわれ率 9.5 右：ひびわれ率 49.7)

図4がMCI2.9における測定データにおける鉛直方向振動加速度の実効値となる。同じ地点を繰り返し測定したにもかかわらず違いがみられる。これは、走行時における走行区間は同じでもタイヤ位置が異なるためではないかと考える。路面は、一定にひびわれや平坦性に変化があるのではないため、走行時の微妙なずれにより測定データに変化が現れたと考え

られる。

図 5 はひびわれ率を変化させないで平坦性に変化をもたせた振動加速度データとなる。あまり大きな違いが確認できなかつたので、フーリエ変換を行って確認した。平坦性の大きいものに関して全体的にスペクトル値が大きく出ている。特に、平坦性が小さいものに関して 10Hz 以下ではスペクトル値が小さいようになっており、平坦性が大きいものに対して 5Hz 前後が少し大きく出ている。このことより、平坦性が大きいものは周波数 5Hz 前後でスペクトル値が大きく出ると考えられる。

図 6 はひびわれ率に変化をもたせ平坦性に変化をもたせない振動加速度データとなる。あまり大きな違いが確認できなかつたので、こちらもフーリエ変換を行って確認した。ひびわれ率が小さいものに関して 10Hz 以上で値が小さいことが確認できる。そのため、ひびわれ率の大きいものに関しては 10Hz 以上の地点でスペクトル値が大きく出てくると考えられる。上のグラフの 5Hz 以下で大きなスペクトル値が出ている。しかし、ひびわれ率が関係していないものとする。

5. 結論

鉛直方向振動加速度の実効値を利用した道路管理指数の推定はできなかつた。測定データ数が少ないことも原因であるが、実効値は測定データの平均であるため様々な要因を個々に確認できないためだと考える。また、測定時のタイヤの位置により測定したひびわれが異なり、測定データに変化があったと考えられる。そのため、タイヤ位置におけるひびわれや、平坦性を調べて測定を行うことで実際の路面性状と測定データを比較できたと考える。

鉛直方向振動加速度の測定データのフーリエ変換を用いて確認した場合、周波数成分に着目することで、ひびわれと平坦性のどちらが影響しているか確認できた。MCI が小さいものに関しては、スペクトル値が大きく出ていることが確認できた。そのため、路面性状が悪いものに関して周波数成分に着目することが有用であると考えられる。

今回は鉛直方向振動加速度に着目して行ったが、測定データによって着目することが異なると考える。騒音データが少なかつたため確認できなかつたが、比較することで関係が出てくるのではないかと考える。

6. 今後の課題

本研究で利用したデータは 100m 区切りであり、実際に測定したタイヤ位置とは異なっている。そのため、タイヤ位置のひびわれ率を算出することにより実際の路面性状と測定データが比較できるようになると考える。

また、本研究では騒音測定がうまくいかず鉛直方向振動加速度のみに着目したが、騒音や水平方向振動加速度にも着目し分析する必要があると考える。