

一般論文

デジタルタコグラフの加速度ビッグデータを活用した規格化した加速度実効値の推移の評価

堀口翔伍^{***}、津田和城^{**}、細山亮^{**}、渡部大輔^{***}

Transition of Normalized Acceleration RMS Using Digital Tachograph Acceleration Big Data

Shogo HORIGUCHI^{***}, Kazuki TSUDA^{**}, Akira HOSOYAMA^{**} and Daisuke WATANABE^{***}

輸送環境調査を実施する際は、輸送環境記録計を用いて実際に輸送するトラックにより走行して計測を行う。しかし、その手間や費用のためにあまり実施されておらず、振動試験を実施する際は多くの場合で規格に記載されている PSD が用いられる。そこで、輸送環境調査における計測を簡便にするため、デジタルタコグラフにより取得された加速度ビッグデータの活用を試みた。サンプリングレートの粗いデジタルタコグラフの加速度ビッグデータから輸送経路中の規格化した加速度実効値の推移を推定し、輸送環境記録計による結果との比較により評価を行った。その結果、デジタルタコグラフを利用した場合、規格化した加速度実効値の推移をよく推定でき、走行速度や走行する車線によるばらつきを抑制した平均的な走行における規格化加速度実効値を示していると考えられた。

In the transport environment survey, measurements are taken using a transport environment recorder by driving trucks that are actually used for transportation. However, due to the time and expense involved, this is not often carried out, and when conducting vibration tests, PSD listed in the standards is used in most cases. Therefore, in order to simplify measurements in transport environment surveys, we attempted to utilize acceleration big data obtained by digital tachographs. We estimated the transition of the normalized acceleration RMS (root mean square) during the transportation route using acceleration big data by digital tachographs with a coarse sampling rate, and evaluated it by comparing it with the results by the transport environment recorder. As a result, the transition of the normalized acceleration RMS using the digital tachograph could be well estimated. It was thought that it would be possible to suppress variations in driving speed and lanes.

キーワード：デジタルタコグラフ、輸送環境記録計、荷台振動、振動計測、輸送環境調査

Keywords : Digital tachograph , Transport Environment Recorder, Truck bed vibration, Vibration measurement, Transportation environment survey

* 連絡者 (Corresponding author) TEL: 0725-51-2719, Email: horiguchis@orist.jp

** (地独)大阪産業技術研究所, Osaka Research Institute of Industrial Science and Technology (ORIST). 2-7-1.Ayumino, Izumi-city, Osaka 594-1157, Japan,

*** 東京海洋大学 Tokyo University of Marine Science and Technology.

1. 緒言

輸送中の振動による製品の破損を防ぐために荷台振動を模擬した振動試験が実施されている。多くの場合で試験規格に記載されている代表的なパワースペクトル密度（以下、PSD）が用いられる。各社の輸送環境に応じた振動試験の条件策定のためには輸送環境の振動を計測する必要があるが、その事例は少ない。そのため、輸送環境を手軽に計測できる必要がある。これまでに計測の簡易化のために間欠計測¹⁻³⁾やサンプリングレート⁴⁾の粗い簡易計測⁴⁾の報告がなされているが、いずれも輸送経路上での計測が必須である。また、ISO8608による路面粗さと車両の振動応答特性、走行速度を用いて計測せずに荷台振動を推定する方法⁵⁾が提案されたが、経路に応じて路面粗さのデータを入手することは困難であるため、実用的とは言い難い。

我々はこれまでに PSD の形状は走行道路にほとんど依存せず⁶⁾、5分程度の計測で車両の特徴を反映できること^{7,8)}と車両毎に規格化した荷台振動の加速度実効値の推移がよく一致すること⁹⁾を明らかにした。これらを組み合わせることで輸送車両による5分程度の加速度波形の計測と他の車両（自家用車等）による輸送経路での加速度実効値の計測を組み合わせることで輸送環境の推定が可能となった⁹⁾。そこで、輸送経路での測定を不要とするためにデジタルタコグラフ（以下、デジタコ）にて収集している加速度ビッグデータの活用を検討した。デジタコの取り付け位置はダッシュボード付近であるが、規格化した加速度実効値の推移が荷台と同様であれば輸送環境の推定に利用可能であると考えられる。これまでに、デジタコにより収集された加速度ビ

ッグデータを用いて取得した規格化された加速度実効値の推移が、輸送環境記録計により取得した荷台振動の加速度波形に基づいて規格化した加速度実効値の推移とおおよそ一致することを見出した¹⁰⁾。しかし、輸送環境記録計について1回の走行による測定結果を用いたため、信号の多い区間において走行速度のばらつきの影響と思われる相関の低下が確認された¹¹⁾。

本研究では、輸送環境記録計の4回分の計測結果を用いることで走行のばらつきを抑制しデジタコによる規格化加速度実効値との比較を行った。

本論文の構成は以下の通りである。まず、2章ではデジタコにより取得されるデータの特徴について述べる。3章ではデジタコおよび輸送環境記録計で取得される加速度データを比較するためのデータ解析方法について述べる。4章では一般道においてデジタコと輸送環境記録計から得られる加速度実効値の推移について比較を行う。5章では高速道路において4章と同様の比較を行う。6章では走行速度や路面状況の観点から考察を行う。7章は結論とする。

2. デジタルタコグラフにより取得されるデータの特徴

貨物自動車運送事業輸送安全規則および旅客自動車運送事業運輸規則によりトラック（車両総重量7トン以上または最大積載量4トン以上）やバスなどへのタコグラフの取り付けが義務付けられており、近年のDX推進も相まってデジタコの普及が進んでいる。加速度を取得できるデジタコも普及しており、非常に多くの車両の加速度がビッグデータとして蓄積されている¹²⁾。

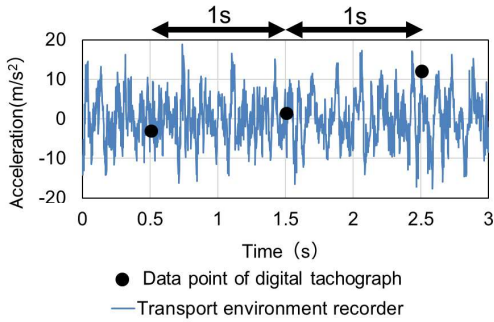


Fig. 1 How to obtain acceleration data in digital tachograph (sampling rate 1 Hz)

しかし、デジタコで収集されている加速度データは Fig. 1 に示すイメージ図の様に 1 ~ 2 Hz 程度の非常に粗いサンプリングレートで加速度値を記録している。そのため、周波数特性を得ることはできず、輸送環境を如実に反映しているとは言い難い。そこで、このビッグデータを用いて多くの車両の加速度を統合することでサンプリングレートの粗さを補うことを考えた。

3. データの解析方法

大阪府内の一般道及び高速道路を走行したデータを用いて垂直方向の加速度について検証を行った。デジタコと輸送環境記録計において同じ位置での比較評価を行うため経度を基準にデータ解析を行った。また、時速 1km 未満は停車とみなして解析から除外した。

3.1 デジタルタコグラフ¹⁰⁾

本検証ではデジタコによりサンプリングレート 1 Hz で取得された加速度、GPS、走行速度のデータを用いる。また、矢崎総業株式会社様よりご提供いただいた匿名化されたデータを用いた。そのため、車両情報については不明である。

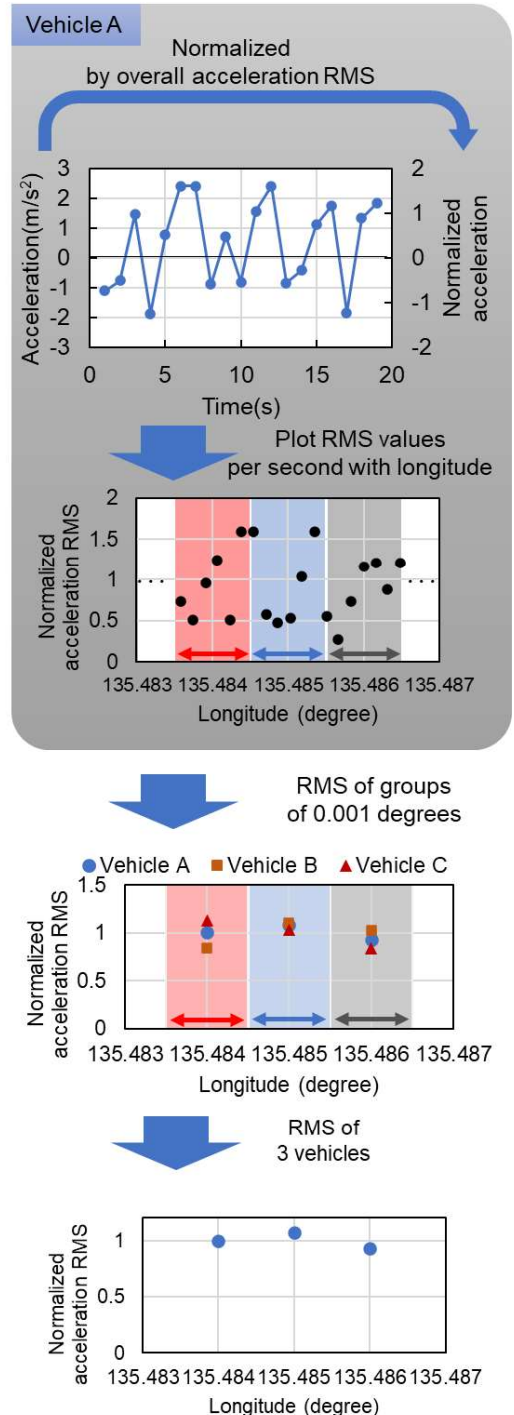


Fig. 2 Analysis method for digital tachograph (example of three vehicles)

解析手順を Fig. 2 に示す。まず、デジタコの 1 秒毎に取得された加速度を計測区間全体

の車両毎の加速度実効値で割ることで規格化する。次に、規格化した加速度の絶対値により1秒毎の規格化された加速度実効値を算出する（以下、規格化加速度実効値）。そして、規格化加速度実効値を車両毎に経度0.001度毎のグループとして二乗平均平方根により算出する。最後に、対象とするすべての車両の規格化加速度実効値を経度毎に二乗平均平方根により算出する。以上により多くの車両の加速度ビッグデータを規格化して統合した。

3.2 輸送環境記録計

本検証では輸送環境記録計（IMV 社製 TR-1000）を用いてサンプリングレート 1280 Hz で計測した2トントラック（Fig. 3）の荷台振動の加速度を解析する。GPS 及び走行速度はQSTARZ 製 BL-1000ST を用いてサンプリングレート 1 Hz で計測した。2日間で2回ずつ合計4回の計測を行った（それぞれの日は同車種であるが別車両）。各計測で道路状況等により走行にばらつきがあると考えられるため、4回の走行を平均化したデータを用いることとした。

解析手順を Fig. 4 に示す。まず、各回の測定データから1秒毎の加速度実効値を算出する。次に、各回の計測全体の加速度実効値で規格化する。そして、経度0.001度毎のグループで二乗平均平方根を取ることで各計測における規格化加速度実効値の推移を算出した¹⁰⁾。



Fig.3 2t truck

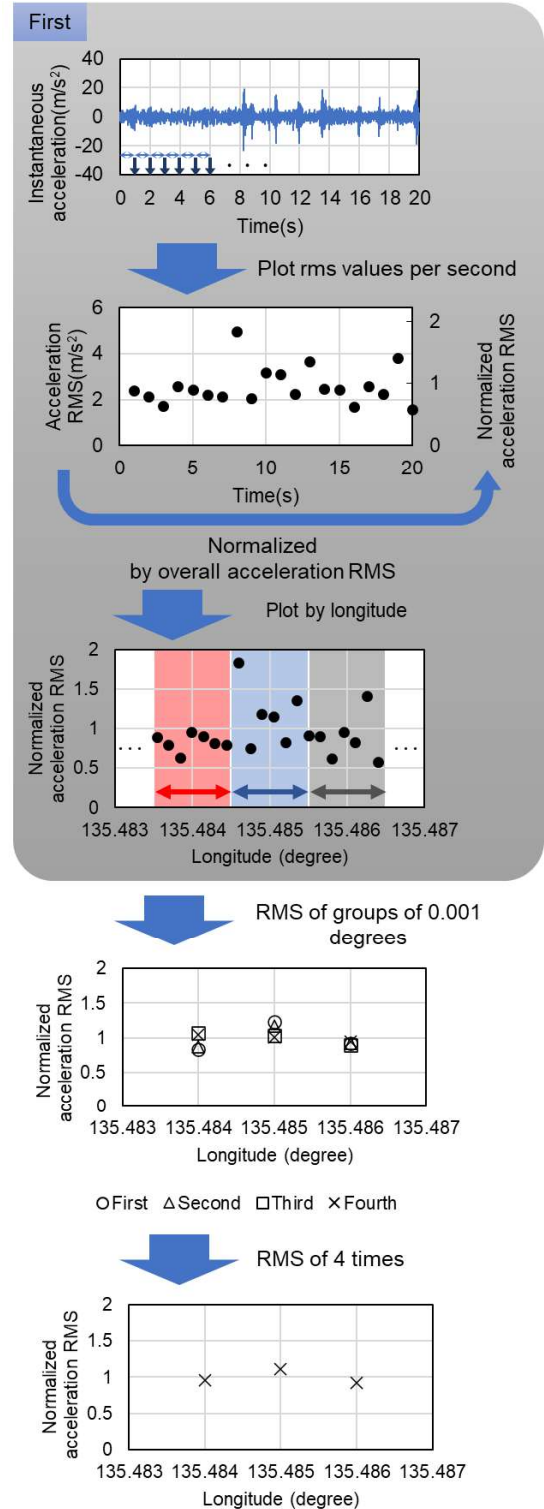


Fig. 4 Analysis method for transport environment recorder

最後に各計測の走行のばらつきを平均化するため、4回分の二乗平均平方根を算出した。

4. 一般道における検証

4.1 検証区間と解析データ

Fig. 5 に示す大阪府南部の一般道の直線区間（約 5.7 km：唐国南交差点～豊田橋北交差点）を対象とした。この区間の北緯 34.5 度では経度 0.001 度は約 90 m である。デジタコは 24 台の 1 日間のデータを用いた。また、輸送

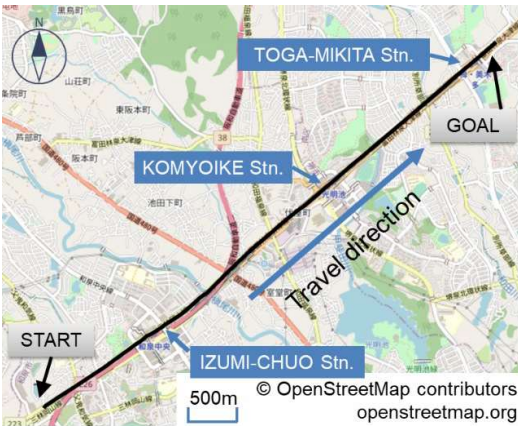


Fig. 5 Verification section on normal road

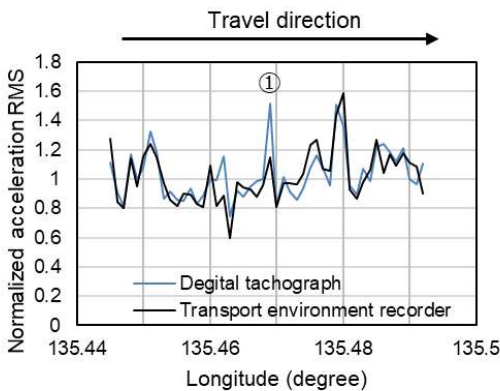


Fig. 6 Comparison of trends in normalized acceleration RMS on normal road (digital tachograph and transport environment recorder)

環境記録計は 2 日間（内 1 日はデジタコと同じ日）で合計 4 回（各日 2 回）の計測結果を用いた。

4.2 規格化加速度実効値の推移の比較

Fig. 6 にデジタコと輸送環境記録計の規格化加速度実効値の比較を示す。①の場所を除きよく一致しており、相関係数は 0.79 であった。

5. 高速道路における検証

5.1 検証区間と解析データ

Fig. 7 に示す阪和自動車道の下り線の貝塚 IC 付近を終点にした約 4.5 km を対象とした。この区間の北緯 34.4 度では経度 0.001 度は約 90 m である。デジタコは 106 台の 1 日間のデータを用いた。また、輸送環境記録計は 2 日間（内 1 日はデジタコと同じ日）で合計 4 回の計測結果を用いた。

5.2 規格化加速度実効値の推移の比較

Fig. 8 にデジタコと輸送環境記録計の規格化加速度実効値の比較を示す。②と③の場所を除いて良く一致しており、相関係数は 0.76 であった。

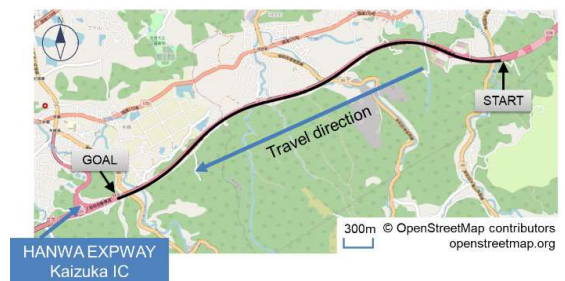


Fig. 7 Verification section on expressway

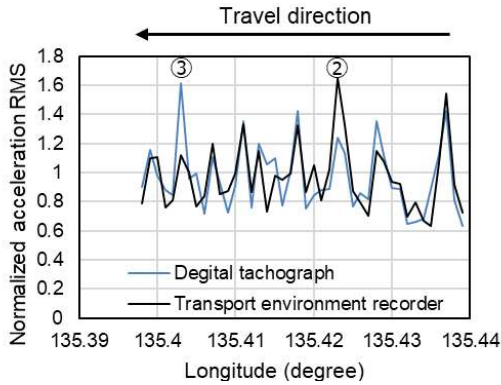


Fig. 8 Comparison of trends in normalized acceleration RMS on expressway (digital tachograph and transport environment recorder)

6. 考察

6.1 走行速度のばらつきの影響

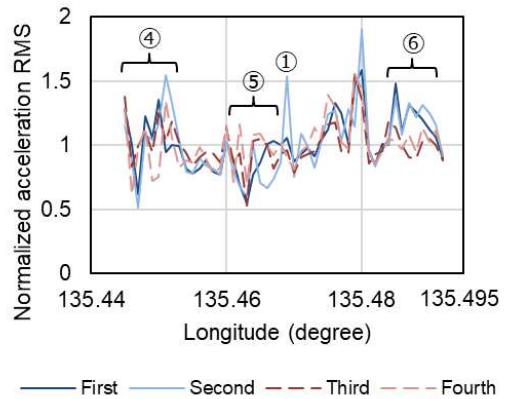
本稿では輸送環境記録計の走行速度のばらつきの影響を抑制するために 4 回の計測結果を平均化した。平均化の効果は、走行速度のばらつきが大きい一般道の結果を基に確認する。

規格化加速度実効値では区間全体の平均走行速度の違いによる影響が取り除かれていると考えられる。そこで、輸送環境記録計の各計測の走行速度について、加速度と同様の手順 (Fig. 4) で二乗平均平方根(RMS)を相加平均に置き換えて規格化した走行速度を算出した。4 回のそれぞれの規格化加速度実効値と規格化走行速度の推移を Fig. 9 に示す。④、⑤および⑥では走行速度のばらつきが加速度のばらつきに直結している。4 回を平均化した Fig. 6 の結果において精度が向上していることから平均化により精度が向上することを確認できた。一方、①について、走行速度は 4 回ともほぼ同じであるが 2 回目のみ加速度が大

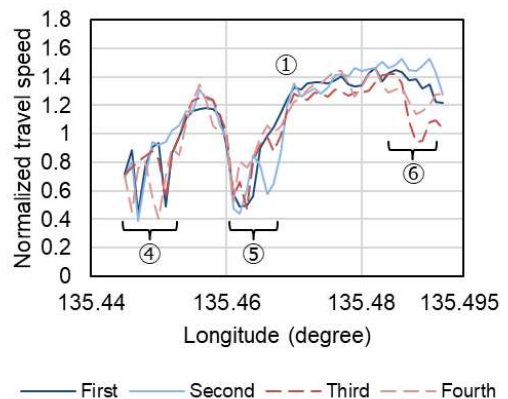
きくなっており、走行速度以外の原因が考えられるため次節で考察する。

また、デジタコと輸送環境記録計の各計測との規格化加速度実効値の相関係数は Table 1 に示す通り 0.58~0.75 とばらつきがあったが、デジタコと 4 回平均の相関係数は 0.79 と輸送環境記録計の平均化により改善した。

以上より、デジタコでは多くの走行を平均化することで、平均的な走行速度によるデータを取得できると考えられる。



(a) Normalized acceleration RMS



(b) Normalized travel speed

Fig. 9 Normalized acceleration RMS and normalized travel speed of four measurements by transport environment recorder on normal road.

Table 1 Correlation coefficient on normal road

		Digital tachograph
Transport environment recorder	First	0.69
	Second	0.75
	Third	0.58
	Fourth	0.59
	Four times (Fig.6)	0.79

6.2 デジタルタコグラフと輸送環境記録計で異なる部分の検討

一般道の①の場所について輸送環境記録計の2回目およびデジタコにおいて高い加速度実効値となっている。当該箇所では Fig. 10 に示す様に走行車線の路面に再舗装による小さな段差が確認できる。輸送環境記録計の1,3,4回目は追越車線、2回目のみ走行車線を走行したため、路面状況を反映して2回目のみ加速度実効値が大きくなったと考えられる。デジタコにおける走行車線と追越車線の走行割合は不明であるが、この割合を反映した結果、デジタコでは加速度実効値が大きくなっていると考えられる。

高速道路において②の場所では輸送環境記録計が、③の場所ではデジタコが高い加速度実効値となっている。②については Fig. 11 に示すように輸送環境記録計では2回目の加速度実効値が低くなっている。各回の違いは2回目のみ追越車線を走行し、1,3,4回目は走行



Fig.10 Condition of the road surface at point ①

車線を走行していた。当該箇所は Fig. 12 に示すように段差舗装がされている。画像からは車線による段差舗装の明確な違いは確認できないが、走行車線の違いにより加速度実効値に差が出たものと考えられる。また、デジタコで加速度実効値が低くなった理由は車線の走行割合を反映していると考えられる。

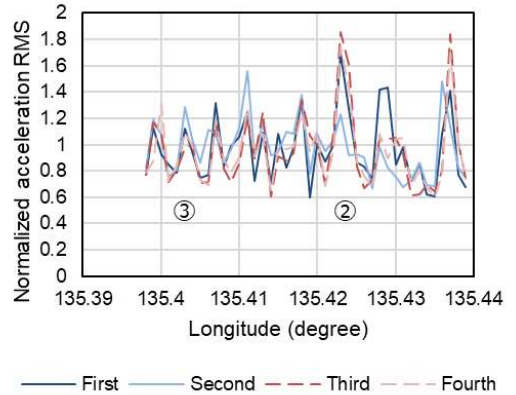


Fig. 11 Normalized acceleration RMS of four measurements by transport environment recorder on expressway.



Fig.12 Condition of the road surface at point ②



Fig.13 Condition of the road surface at point ③

③の場所については、**Fig. 13** に示すように追越車線に舗装の継ぎ目が確認できた。輸送環境記録計の1~4回目のすべてで走行車線を走行していたため大きな加速度実効値は発生しなかった。一方、走行車線と追越車線の両方のデータを含むと考えられるデジタルタコのデータではその割合に応じて加速度実効値が高くなったと考えられる。

以上より、車線の路面状況により計測結果に差が出ることが確認された。しかし、デジタルタコの加速度ビッグデータを用いることで車線の走行割合で平均化したデータを取得できると考えられる。

7. 結論

デジタルタコにより取得される加速度ビッグデータを平均化することで規格化された加速度実効値の推移を取得した。輸送環境記録計で測定した4回のデータを平均化したものと比較した結果、よく一致した。また、一致しない部分については走行車線の路面状況の違いが影響していると考えられた。以上より、デジタルタコの加速度ビッグデータを用いることで、走行速度のばらつきや車線の走行割合を平均化したデータを取得できると考えられる。

デジタルタコのデータは全国で非常に多く取得されているため、解析方法の検討を進めることで、任意の経路における規格化加速度実効値の推移を取得可能であると考えられる。一方で、規格化したことで絶対値の情報が得られない、サンプリングレートが粗いため周波数特性を得ることはできないという問題がある。そこで、デジタルタコの加速度ビッグデータによる規格化加速度実効値の推移を特定車両の加速度実効値および PSD 形状と組み合わせ

ることで、輸送環境調査を行うことなく振動試験条件の策定や振動レベルの低い輸送ルートを選定が可能となることが期待できる。デジタルタコの加速度ビッグデータを用いることで各社の輸送経路に適合した振動試験をより手軽に実施できるようになれば、適正包装に寄与できると考えられる。今後、前後や左右の加速度データの評価およびデジタルタコのデータを用いた振動試験条件の策定方法の検討を進める予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP20K05022 の助成を受けたものである。

また、デジタルタコのデータを提供いただいた矢崎総業株式会社様に感謝の意を表す。

<参考文献>

- 1) 斎藤勝彦, 森田勉, 荷台振動の間欠計測, 日本包装学会誌, 15(2), p.89 (2006)
- 2) F. Lu, Y. Ishikawa, H. Kitazawa, T. Satake, Effects of Sampling Intervals on Truck Transport Vibration Levels, Journal of the Society of Agricultural Structures, 41(3), p103 (2010)
- 3) 川口和晃, トラック荷台振動における閾値計測 - 間欠計測を閾値計測で代用する方法の提案 -, 日本包装学会誌, 22(3), p237 (2013)
- 4) 進村竜也, 斎藤勝彦, 秋田直也, 奥山俊博, 間欠計測によるランダム振動統計値の信頼性, 日本包装学会誌, 29(6) p.449 (2020)
- 5) V. Rouillard, M. Sek, Creating Transport Vibration Simulation Profiles from Vehicle

- and Road Characteristics, Packaging Technology and Science, 26(2) p.82 (2013)
DOI:10.1002/pts.1967
- 6) 津田和城, 細山亮, 堀口翔伍, 渡部大輔,
道路の種類が荷台の並進方向および回転方向の振動に及ぼす影響, 日本包装学会, 第30回年次大会予稿集, p.96 (2021)
- 7) 堀口翔伍, 津田和城, 細山亮, 渡部大輔,
荷台振動の簡易加速度 PSD 推定手法の精度検証, 日本包装学会誌, 32(1), p.63 (2023)
- 8) 堀口翔伍, 津田和城, 細山亮, 渡部大輔,
((地独) 大阪産業技術研究所, (国大) 東京海洋大学), 特願 2021-191757
- 9) 堀口翔伍, 津田和城, 細山亮, 渡部大輔,
異なる車種の荷台の振動測定による加速度実効値の推定, (公社) 日本包装技術協会, 第60回全日本包装技術研究大会 大会予稿集, p.135 (2022)
- 10) 堀口翔伍, 津田和城, 細山亮, 渡部大輔,
デジタルタコグラフの加速度ビッグデータを活用した高速道路における加速度実効値の推移の取得, 日本包装学会, 第32回年次大会予稿集, p.32 (2023)
- 11) 堀口翔伍, 津田和城, 細山亮, 渡部大輔,
輸送環境調査の簡易化を目指したデジタルタコグラフの加速度ビッグデータ活用方法の検討, (公社) 日本包装技術協会, 第61回全日本包装技術研究大会 大会予稿集, p.60 (2023)
- 12) 【KDDI】商用車のプローブデータ | IoT/データ分析 | 法人向け
<https://biz.kddi.com/service/iot-cloud-data/data/probe/> (2023/11/19 確認)

(原稿受付 2023年12月11日)

(採録受理 2024年1月18日)