

路面評価型ドライビングシミュレータの乗り心地再現性について

北見工業大学工学部	正会員	○富山 和也
北見工業大学工学部	正会員	川村 彰
大成ロテック(株)	正会員	城本 政一

1. はじめに

近年、道路整備への利用者ニーズが量的拡大から質的向上へ移行していることや、舗装技術基準の性能規定化を背景に、路面平坦性に起因する車両振動乗り心地（以下、「乗り心地」とする）への社会的関心が高まっている。乗り心地の把握・定量化には、質問紙などにより利用者の乗車感覚を直接測定する体感試験が有効であるが、実道実車による試験では、被験者の安全性ならびに必要とする路面条件確保の観点から多くの困難を伴う。そこで、北見工業大学では、人と路面をつなぐインターフェイスとして、乗り心地や車両操安性の評価・研究を指向した、路面評価型ドライビングシミュレータ（KITDS: Kitami Institute of Technology Driving Simulator）を開発している（図-1）。KITDSは、2003年の導入以降、車両振動や走行映像の発生に関する機能強化が図られ、路面損傷に起因する車両振動の再現性に関するキャリブレーション作業を経て、現在、乗り心地の体感試験において実用に供している。本稿では、路面評価におけるKITDSの特徴および固有機能を概説し、乗り心地に関連した車両振動の再現性について検証した。



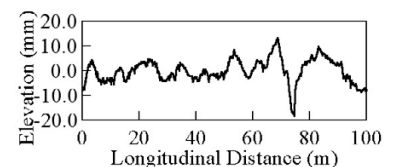
図-1 KITDSの外観

2. KITDSの特徴および固有機能

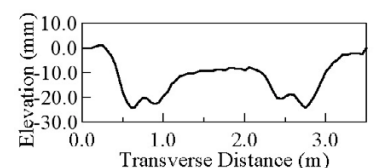
従来、道路研究におけるドライビングシミュレータ（以下、「DS」とする）の利用は、道路の視認性や線形設計に関するものが主体であった。一方、KITDSは、固有機能である「自由走行」および「体験走行」により、乗り心地や操安性、燃費や耐久性など車両走行費用に関係の深い、路面のラフネスレベルでのデータが利用可能である。

2.1 自由走行機能

自由走行機能は、DS上で実路面特性データ（縦横断プロファイル、摩擦係数）を再現し、コンピュータグラフィックス（CG）で構成されたコース上の自由な走行を可能にする。これまで、DSにおける道路関連データは、その路面特性として、道路線形と関係の深い数十メートルから数百メートルの波長成分が主体であったが、KITDSでは、数センチメートル単位の波長成分を有する路面プロファイルを再現することができる。図-2に、KITDSで再現可能な路面プロファイルの一例を示す。



(a) 縦断プロファイル



(b) 横断プロファイル

図-2 自由走行機能における路面プロファイルの一例

2.2 体験走行機能

体験走行機能は、DS上で実車両挙動（並進加速度、回転角度）および実走行映像データを再現し、運転操作を伴わない乗車体験を可能にする。運転操作が不要なため、全ての乗員に対し同一の振動条件を与えることができ、乗り心地評価データの分析において、運転操作に関連した要因を排除することができる。なお、実車両から得られたデータに代わり、数値シミュレーションから得られた車両挙動データおよび走行アニメーションデータも利用できる。体験走行機能での体感試験状況を図-3に示す。



図-3 体験走行機能での体感試験状況

キーワード ドライビングシミュレータ, 路面評価, 乗り心地, 平坦性

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町165 北見工業大学 工学部 交通工学研究室 TEL 0157-26-9429

3. KITDS の乗り心地再現性について

車両バネ上下振動加速度（以下、「加速度」とする）は、利用者の乗り心地評価と深い関係にあることが知られている。そこで、乗り心地再現性の検証は、KITDS のコックピット上で得られた加速度に着目し行なった。

3.1 検証方法および条件

乗り心地の再現性検証における路面条件は、国際ラフネス指数（IRI: International Roughness Index）を基準に 5 水準（IRI=2,3,4,5,6mm/m）、乾燥路を想定し摩擦係数 $\mu=0.75$ とした。走行速度は、実際の体感試験を鑑み、加速度実効値が ISO の人体振動基準における「非常に不快 (very uncomfortable)」の下限値である 1.25m/s^2 以下¹⁾となるよう、後述の表-1 に示す 40km/h から 100km/h の間で設定した。以上の条件について、汎用の車両運動シミュレーションソフトウェア CarSim^{®2)}による加速度の理論計算結果を入力データとする体験走行を実施し、入出力加速度の比較により、KITDS の乗り心地再現性について検証する。なお、車両挙動データのサンプリング間隔は、100Hz である。

3.2 検討対象とする車両振動特性

検討対象とする車両振動特性は、IRI 算出の際に用いられるクォーターカー・フィルタにおいて、振幅利得の高い周波数帯に着目した。クォーターカー・フィルタは、0.8-10Hz の間で利得が高く（図-4）、この範囲は、上下方向での人体振動の高感度域（4-8Hz）¹⁾および一般的な車両のバネ上共振域（1-2Hz）³⁾を含んでおり、乗り心地と関係の深い周波数帯であると言える。

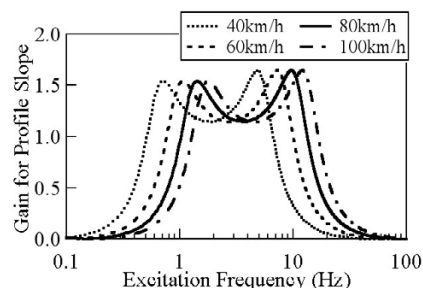


図-4 クォーターカー・フィルタ

3.3 検証結果

各振動条件において、0.8-10Hz に帯域制限された入出力データ間の相互相関係数を表-1 に示す。相互相関係数とは、ある 2 信号の相関関係を表し、絶対値が 1（完全な相関）から 0（無相関）の値をとる。表-1 より、全ての振動条件で、相互相関係数 0.8 以上と、入出力データ間の高い相関が確認できた。また、図-5 は、入出力データのパワースペクトル密度による比較の一例であるが、1-2Hz の帯域で極めて高い一致が見られ、他の振動条件においても同様の結果となった。この範囲は、車両バネ上共振域であるため、車両開発の見地からは振動低減が難しく、舗装維持管理の立場から対処すべき帯域と言える。以上より、KITDS は、高い乗り心地再現性を有しており、路面評価型 DS として有効なツールといえる。

表-1 検証条件と相互相関係数（無次元）

	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h
IRI=2mm/m	0.82	0.84	0.90	0.96
IRI=3mm/m	0.83	0.89	0.88	0.93
IRI=4mm/m	0.88	0.88	0.90	0.93
IRI=5mm/m	0.91	0.84	0.88	
IRI=6mm/m	0.92	0.84		

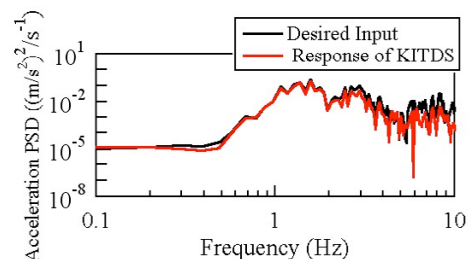


図-5 パワースペクトル密度による比較例 (IRI=2mm/m, V=80km/h)

4. まとめ

本稿は、KITDS の固有機能を概説するとともに、路面損傷に起因する乗り心地の再現性について検証したものである。その結果、KITDS は、高い乗り心地再現性を有しており、とりわけ、路面管理上重要な 1-2Hz の振動再現に優れていることがわかった。今後、舗装マネジメントシステムの運用に際し、KITDS を利用することで、路面の体感乗り心地情報の効率的な収集・分析に寄与するものと期待できる。

参考文献

- 1) JIS : 全身振動 - 第 2 部 : 測定方法及び評価に関する基本的要求, JIS B 7760-2, 2004.
- 2) Mechanical Simulation Corporation: CarSim Reference Manual, 2006.
- 3) カヤバ工業編 : 自動車のサスペンション, 山海堂, 2005.