

路面の体感乗り心地評価試験における 信頼区間を利用した被験者数設定の視点と方法

富山和也¹・川村 彰²・石田 樹³・高橋 清⁴

¹正会員 博(工) 北見工業大学研究員 SVBL (〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

E-mail : tomiyaka@mail.kitami-it.ac.jp

²正会員 博(工) 北見工業大学教授 工学部社会環境工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

³正会員 博(工)(独) 土木研究所 寒地土木研究所 (〒062-8602 北海道札幌市豊平区平岸 1条 3 丁目)

⁴正会員 工博 北見工業大学准教授 工学部社会環境工学科 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165 番地)

体感により路面乗り心地を評価し、統計的に結果を解釈する場合、その信頼性および妥当性は被験者数に大きく依存する。本研究は、路面乗り心地の体感評価試験における被験者数について、統計学的信頼区間に基づき設定するための視点と方法を示した。はじめに、ドライビングシミュレータを用いた体感試験を実施し、信頼区間の算定に資する統計量を推測し、その結果を用いて、95%信頼区間幅に基づき、路面乗り心地評価に必要な被験者数設定のための図を示した。また、5段階評価尺度を用いた路面乗り心地の体感試験では、路面維持管理の実務上、少なくとも評価平均値差±0.5評価点の判別が可能となるよう、95%信頼区間幅を1とし、20名以上の被験者が必要であるとの知見を得た。

Key Words : ride quality, roughness, numbers of subjects, statistical confidence interval, driving simulator

1. はじめに

近年、道路整備に対する社会的要求が、量的拡大から質的向上へと変遷しており、舗装路面の維持管理には、車両走行時の快適性や安全性など、利用者視点を重視した対策が求められている。とりわけ、路面の平坦性は、舗装技術基準の性能規定化に伴い、「乗り心地がよい」など、快適な交通を確保するための必須の指標となっている¹⁾。

利用者の快適性に基づく路面平坦性評価の重要性は、従来から、国内外を問わず認識されており、乗り心地指向の路面評価指標である IRI (International Roughness Index: 国際ラフネス指数) や RN (Ride Number: ライドナンバー)、車両振動に着目し、ISO (International Organization for Standardization: 国際標準化機構) の全身振動評価法を用いた平坦性評価の研究事例は数多い²⁾⁵⁾。しかし、RN を例にとると、(1)評価対象とする車両振動周波数が、ISO の評価基準と異なることや、(2)路面波長に対する感度が、IRI と異なるなど、路面特性と乗り心地の関係を把握するには至っていない²⁾。また、ISO⁶⁾が指摘するように、乗り心地など快適性評価は、人の経験や期待、振動以外の物理的要因の影響を受けるため非常に複雑である。

乗り心地に基づく路面平坦性評価では、利用者の乗

車感覚を直接測定可能なことから、体感評価試験(以下、「体感試験」とする)が、有効な手段としてしばしば実施される⁷⁾⁹⁾。路面特性と乗り心地の関係解明に資する評価データを蓄積していく上で、体感試験の需要は、今後ますます高まるものと考えられる。

体感試験の主目的は、限られた被験者による体感評価値の一般化であり、換言すれば、標本統計量をもとに、できるだけ正確な母数を推測するという統計的推測の課題と一致する¹⁰⁾。統計的推測とは、推測統計や統計的推論とも呼ばれ、確率モデルに基づき、標本から母数に関する推測を行う方法であり、統計的推定(以下、「推定」とする)と統計的検定(以下、「検定」とする)に大別される¹⁰⁾¹¹⁾。統計的推測において、測定結果の標本統計量は、常に被験者数に依存し¹²⁾、被験者数が増えるに従い実験コストも増加する。そのため、実験計画段階において、最低限必要な被験者数を設定することが重要である。しかしながら、必要被験者数は、分析目的や、用いる統計手法に依存するため、一概に決定することは困難である¹³⁾¹⁴⁾。

これまでに筆者らは、検定を用いた路面乗り心地解析における被験者数について、検定力分析に基づく設定方法について検討している¹⁵⁾¹⁶⁾。検定による解析では、例えば「2路面間の乗り心地に差はない」という帰無仮説に

ついて、ある有意水準下での整合性を判定する。即ち、検定により体感評価結果の妥当性を保証する場合、仮説が正しいか否かの二者択一的な結論のみを導く。一方、推定では、区間推定とよばれる、予め定められた確率で母数を含む区間の推定が可能であり、検定における有意差判定に比べ、母数に関するより有益な情報が得られる。ここで、「予め定められた確率」は信頼水準もしくは信頼係数とよばれ（以下、「信頼水準」とする）、その確率で母数を含むと推定される区間を信頼区間とよぶ^{10),17)}。

区間推定に基づく被験者数は、信頼区間の幅をどの程度に抑えたいかを考え、信頼区間を求めるための公式などを利用して決定する。ただし、信頼区間の幅は、標本統計量およびその変動に依存するため、予備調査や類似研究から推測するなど、個々の研究に委ねられる^{13),17)}。

本研究の目的は、路面乗り心地の体感試験における被験者数について、区間推定に基づく設定の視点と方法を確立することである。とりわけ、乗り心地の良し悪しに関する5段階評価尺度を用いた体感試験結果をもとに、ある2路面間の体感乗り心地評価平均値差に着目した検討を行う。

なお、「乗り心地」には、車内環境や沿道の景観も含めた「広義の乗り心地」も考えられるが、本研究における「乗り心地」は、路面損傷に起因する、「狭義の車両振動乗り心地」を指すものとする¹⁸⁾。また、体感試験は、被験者の安全性ならびに必要とする路面条件を容易に確保し、効率的かつ経済的に実施するため、ドライビングシミュレータ（以下、「DS」とする）を用いた。

2. DSによる路面乗り心地の体感試験

体感試験は、利用者の乗車感覚を直接測定できるため、路面乗り心地評価において非常に有効な手段である。しかし、実道実車試験では、被験者の安全性や必要とされ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、安全かつ効率的に路面損傷に起因する乗り心地の体感試験を実施するため、路面評価型DS（KITDS: Kitami Institute of Technology Driving Simulator）を開発している（図-1）。本章では、KITDSの特徴を概説するとともに、路面乗り心地評価における信頼区間の推定に資する体感試験の概要について述べる。

(1) KITDS

従来、道路研究におけるDS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り、路面プロファイルデータの利用は、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の再現に限られていた。一方、KITDSでは、乗員の乗り心地や車両の操縦性・安定性、



図-1 KITDSの外観

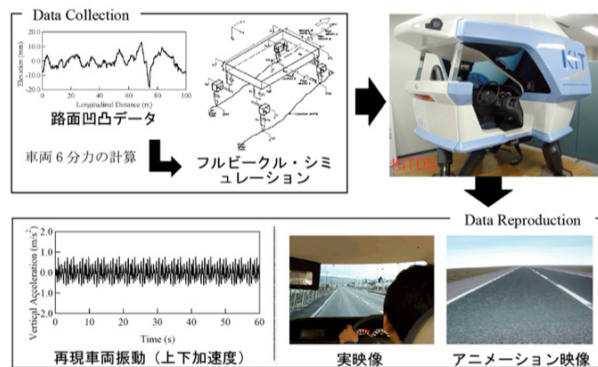


図-2 KITDSにおける車両振動データ再現の概要

燃費や車両耐久性などの走行費用に直結し、数センチメートル単位の路面波長を有する、ラフネスレベルでのデータが再現可能である。また、KITDS固有の機能として、路面プロファイルに起因する車両振動を、予め実路走行試験や車両運動シミュレーションにより計測し、その際の前方視界画像データとともに再現することが可能である。本機能では、車両振動を直接再現するため、運転操作を伴わず、乗り心地データの解析において、運転操作や走行速度、走行軌跡の違いなどを排除できる。本研究では、体感評価において、運転特性など、乗り心地以外の要因を極力排除するため、本機能を用いた。KITDSにおける車両振動データ再現の概要を図-2に示す。

(2) 体感試験シナリオ

信頼区間の推定に資する体感試験は、乗り心地評価区間長300mにおいて、路面平坦人性および速度水準の異なる状況を設定し実施した。なお、体感試験における車両振動および前方視界画像データは、CarSim^{®19)}の小型乗用車モデルによるシミュレーション結果を用いた。CarSim[®]とは、ステアリング操作などの運転条件や、路面状況などの環境条件を、ユーザが自由に設定でき、その時の乗用車や小型商用車の挙動をコンピュータ上で再現する、車両運動シミュレーションソフトウェアである。

a) 路面条件

路面条件は、IRIが2,3,4,5,6mm/mの5水準とした。体感試験に用いた路面プロファイルデータは、上記のIRIを満たすよう、世界道路協会（PIARC）によって実施さ

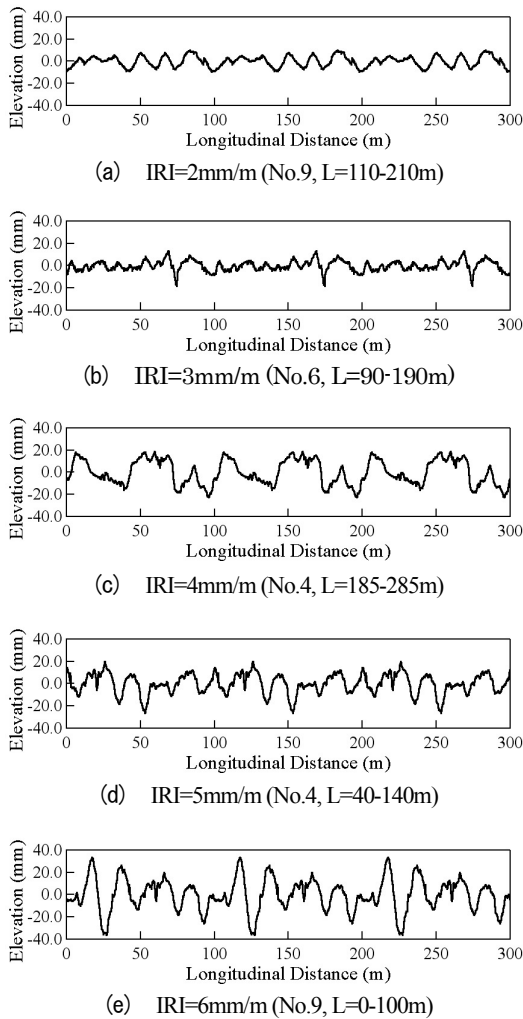


図-3 体感試験における路面プロファイル
(())内はEVEN試験における測定区間

れた国際共通試験（通称「EVEN試験」）結果²⁰から、測定延長100mの実測データを選定し、当該データを3回繰り返すことで、延長300mを確保した。体感試験における路面プロファイルを図-3に示す。なお、路面プロファイルデータは、「True Profile」とよばれる、Dipstick[®]プロファイラおよび水準測量によって測定されたものであり、サンプリング間隔は0.025mである。また、路面摩擦は、乾燥路面を想定し、摩擦係数 $\mu=0.75$ とした。

b) 走行条件

体感試験における車両走行速度は、乗り心地と関係の深い、バネ上の上下振動加速度（以下、「上下加速度」とする）実効値が、国際標準化機構(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 以下となるよう^{6,21)}、表-1に示す40km/hから100km/hの間で設定した。なお、表中、ISO2631-1の周波数荷重曲線⁶⁾に基づき補正した上下加速度実効値を合わせて示す。ここで、車両挙動データのサンプリング間隔は100Hzであり、KIDSへの入力振動は周波数補正前のデ

表-1 体感試験における走行条件および周波数補正した加速度実効値（単位： m/s^2 ）

	40km/h	60km/h	80km/h	100km/h
IRI=2mm/m	0.23	0.25	0.32	0.43
IRI=3mm/m	0.43	0.53	0.67	0.82
IRI=4mm/m	0.49	0.59	0.73	0.87
IRI=5mm/m	0.62	0.75	0.88	
IRI=6mm/m	0.65	0.81		

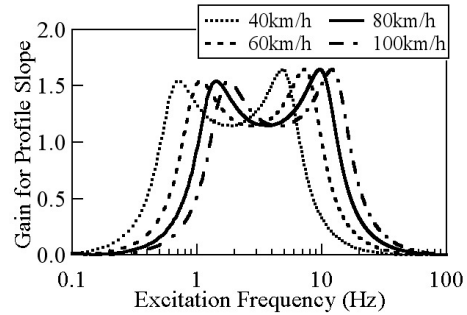


図-4 クォーターカー・フィルタの応答

ータである。

(3) KITDSの乗り心地再現性

DSのコックピットにおける上下加速度の再現性は、体感により乗り心地を評価する上で非常に重要となる。本節では、表-1の走行条件について、上下加速度に着目し、KITDSの乗り心地再現性を検証する。

a) 検討対象とする車両振動特性

DSの振動特性に関するチューニングを行う場合、車両に生じる全ての加速度や角速度パラメータの再現性を確保することは、シミュレーションの特性上難しく、効率的でない。そのため、一般に、実験の目的に合う運動パラメータの再現性に重点が置かれる²²⁾。そこで、本研究では、IRIの計算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。図-4に走行速度に応じた、時間領域でのクォーターカー・フィルタの応答を示す。図より、クォーターカー・フィルタは、0.8-10Hzの間で利得が高く、この範囲は、人体振動における上下方向の高感度域である4-8Hz⁹⁾および一般的な車両のバネ上共振域である1-2Hz²³⁾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。そこで、振動再現性の検証は、0.8-10Hzの帯域に属する上下加速度に着目した。

b) 検証結果

検証は、各走行条件下で、デジタル・フィルタにより0.8-10Hzに帯域制限された上下加速度について、入力データ間の相互相関係数により行った。相互相関係数は、ある2信号間の相関関係を表し、絶対値が完全な相

表-2 KITDS における入出力上下加速度間の
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		

関=1 から無相関=0 の間の値をとる²⁴⁾。各走行条件における相互相関係数を表-2 に示す。表より、全ての振動条件で、相互相関係数 0.8 以上と相関が高く、KITDS は、乗り心地評価に必要な上下振動の再現性を有することが確認できた。

(4) 被験者および評価尺度

a) 被験者

被験者として、試験目的に同意の上、北見市在住の 20 代から 60 代男女 18 名の協力を得た。全ての被験者は、本試験で使用した走行シナリオの未経験者である。走行条件の提示順序は、振動の残留効果を低減するため、各被験者に対し無作為に振り当てた。また、室温や照明等の試験環境は、被験者毎に極力等しくした。被験者は、各走行シナリオを体験後、直ちに、後述の 5 段階尺度により、自身の感覚に基づく乗り心地評価を行った。

b) 評価尺度

体感試験における評価尺度として、「5 : 良い」、「4 : やや良い」、「3 : どちらともいえない」、「2 : やや悪い」、「1 : 悪い」の 5 段階尺度を用いた。石田ら²⁵⁾は、本尺度を用い、路面の乗り心地・安心感に関する研究を行っており、IRI 増加に伴い、乗り心地が低下することを明らかにしている。また、AASHO 道路試験⁷⁾や、乗り心地指向の路面指標である RN の根拠となった体感試験³⁾においても、同様の評価尺度が用いられている。体感による路面乗り心地の評価・研究において、過去の研究成果を活用する上でも、5 段階評価尺度は、今後も利用されていくものと考えられる。

3. 信頼区間を利用した被験者数の設定

信頼区間を求める目的は、研究標本に基づき得られた値、即ち標本統計量の、母集団における値に対する正確性もしくは不正確性を示すことである。一般的に、被験者数が多くなれば信頼区間の幅は狭まり、母集団値に関して、より精度の高い推定が可能となる。しかし、信頼区間の幅は、被験者数の増加に伴い急激に狭まるため、被験者数を増やすメリットも急速に低下する。そのため、

実験計画段階において、所要の信頼区間の幅を決定し、その幅が得られるような被験者数を推測しておくことが効率的かつ経済的である。また、予め実験に要する被験者数を理論的に設定することは、実験結果を統計学的にまとめる上での必須事項である²⁶⁾。そこで、上述の体感試験結果をもとに、路面乗り心地評価における被験者数について、信頼区間に基づく設定方法について検討する。

(1) 推定対象および条件

路面評価の主要な問題として、平坦性やわだち掘れ水準の差によって、体感評価値がどの程度異なるかが問われる。これにより、例えば、路面補修による乗り心地改善効果の事前確認や、補修優先順位の決定について、道路利用者の視点を交え、効率的に行うことが可能となる。そこで、本研究では、2 路面間の主観評価平均値 (MPR: Mean Panel Rating) の差を対象とし、体感試験に要する被験者数について検討する。推定手法としては、対応のある 2 群平均値差の区間推定となる。また、路面維持管理の実状を考えた場合、同一評価区間内において、異なる速度水準による評価を行うことは少ないと考えられる。そのため、効果量の推測および被験者数の算定は、速度水準別に検討した。

(2) 対応のある 2 群平均値差の区間推定¹⁰⁾

ある 2 変数 y_1 , y_2 の変化量 v を

$$v = y_1 - y_2 \quad (1)$$

とすると、変化量 v の平均値 \bar{v} は、各変数の平均値 \bar{y}_1 , \bar{y}_2 を用い、

$$\bar{v} = \bar{y}_1 - \bar{y}_2 \quad (2)$$

となる。即ち、対応のある 2 群平均値差の標本分布の問題は、1 つの変数 v の平均の標本分布の問題に帰着できる。ここで、変数 v について、平均 μ_v 、分散 σ_v^2 の正規分布に従う確率モデル

$$v \sim N(\mu_v, \sigma_v^2) \quad (3)$$

を考えると、被験者 N の時の標本平均 \bar{v} の標本分布は、

$$\bar{v} \sim N\left(\mu_v, \frac{\sigma_v^2}{N}\right) \quad (4)$$

となる。また、この分布の分散の平方根

$$\sigma_{\bar{v}} = \frac{\sigma_v}{\sqrt{N}} \quad (5)$$

は、標本平均 \bar{v} の標準誤差となる。

ここで、(4)式より標本平均 \bar{v} を標準化した

$$z = \frac{\bar{v} - \mu_v}{\sigma_{\bar{v}}} \quad (6)$$

は、標準正規分布に従う。ここで、変数 v の不偏分散の平方根が s'_v であり、標本平均 \bar{v} の標準誤差 $\sigma_{\bar{v}}$ の推測値として、

表-3 路面乗り心地の体感評価における効果量の推測結果

対象路面 IRI (mm/m)	比較路面 IRI (mm/m)	40km/h			60km/h			80km/h			100km/h		
		MPR の差	不偏 分散の 平方根	信頼区 間の幅	MPR の差	不偏 分散の 平方根	信頼区 間の幅	MPR の差	不偏 分散の 平方根	信頼区 間の幅	MPR の差	不偏 分散の 平方根	信頼区 間の幅
2	3	0.00	1.46	1.47	0.61	1.04	1.03	0.72	1.36	1.36	0.78	1.26	1.26
2	4	0.33	1.14	1.13	0.50	0.92	0.92	0.83	1.15	1.14	0.83	0.92	0.92
2	5	0.83	0.99	0.98	1.22	0.65	0.64	1.44	1.04	1.04	-	-	-
2	6	1.00	1.14	1.13	1.39	0.98	0.97	-	-	-	-	-	-
3	4	0.33	0.97	0.97	-0.11	1.13	1.13	0.11	1.02	1.02	0.06	0.94	0.93
3	5	0.83	1.29	1.29	0.61	0.92	0.91	0.72	0.96	0.95	-	-	-
3	6	1.00	0.97	0.97	0.78	0.88	0.87	-	-	-	-	-	-
4	5	0.50	0.71	0.70	0.72	0.67	0.67	0.61	0.85	0.85	-	-	-
4	6	0.67	0.69	0.68	0.89	0.83	0.83	-	-	-	-	-	-
5	6	0.17	0.99	0.98	0.17	0.62	0.62	-	-	-	-	-	-

* 「加速度差」は実効値 (m/s²)

$$s_{\bar{v}} = \frac{s'_v}{\sqrt{N}} \quad (7)$$

を用いると、上記の z に対応する統計量

$$t = \frac{\bar{v} - \mu_v}{s_{\bar{v}}} \quad (8)$$

は、自由度 $N - 1$ の t 分布に従う。母集団平均値差 $\mu_1 - \mu_2$ ($=\mu_v$)を Δ と表し、それに対する信頼水準95%の信頼区間の下限と上限をそれぞれ、 Δ_L および Δ_U とし、これらの限界値は、(8)式の統計量 t が自由度 $N - 1$ の t 分布に従うことを利用すると、

$$\Delta_L = \bar{v} - t_c \times s_{\bar{v}} \quad (9)$$

$$\Delta_U = \bar{v} + t_c \times s_{\bar{v}} \quad (10)$$

で与えられる。ただし、 t_c は、自由度 $N - 1$ の t 分布の上側確率0.025に対応する値である。ここで、信頼水準は95%としたが、これは、検定における有意水準5%に対応する水準であり、統計学的に妥当とされる値である²⁶⁾。なお、 t 分布の確率に対応する値は、確率分布表¹⁰⁾や統計ソフトウェア²⁷⁾などで求められる。

(3) 信頼区間の算定に必要な統計量の推測

上述の(7)-(10)式より、信頼区間は被験者数、母集団平均値差および不偏分散の平方根により与えられる。ここで、母集団における各統計量は未知であるため、推測値として標本から得られた各値を用いる。従って、既存の体感試験から得られた各統計量を推測値として利用すれば、信頼区間は、被験者数により一意的に決定される。換言すれば、所要の信頼区間を設定することで、体感試験に要する被験者数が決定できる。そこで、前章で述べた体感試験で得られた体感評価値を用いて、MPR差および不偏分散の平方根を算定し、推測値として用いた。各統計量の推測値およびその時の信頼区間の幅を表-3に示す。表中、便宜上一方の評価路面を「対象路面」、他方を「比較路面」とした。なお、信頼区間の幅とは、(9)、(10)式における信頼区間の上限と下限の差 $\Delta_U - \Delta_L$ である。従って、(9)および(10)式より、信頼区間の幅は、母集団

平均値差の推測値によらず、被験者数と不偏分散の平方根で決定される。

ここで、本研究における体感試験は、被験者数算定を目的としているため、試験に用いた路面プロファイル自体の評価は考えないものとする。また、表-3における各2路面の比較は、それぞれ独立の事象として扱うため、同時信頼区間の考慮は不要である²⁸⁾。

(4) 信頼区間幅に基づく被験者数設定の視点

信頼区間幅は、被験者数と標本から得られた不偏分散の平方根により求められることを前述した。換言すれば、被験者数は、不偏分散の平方根を係数とした信頼区間幅の関数となる。以上の関係を利用し、表-3に示した不偏分散の平方根が、(a) 最大、即ち最も信頼区間幅が広がる条件 (Upper Limit)、(b) 最小、即ち最も信頼区間幅が狭くなる条件 (Lower Limit) および (c) (a)と(b)の平均 (Mean) となる場合の被験者数を算出した(図-5)。ここで、Upper Limitは、測定データのばらつきが大きく体感乗り心地評価の信頼性が低い場合であり Lower Limitは、測定データのばらつきが小さく、評価の信頼性が高い場合である。換言すれば、2路面間の体感乗り心地に、多くの被験者が差異を感じる場合、Lower Limitに近づく。一方、Upper Limit付近では、体感による乗り心地の判断にばらつきが生じる。即ち、路面補修など、予め大きな乗り心地の改善効果を想定する場合は、Lower Limit曲線に基づく被験者数で、信頼性の高い推定が可能である。一方、補修優先順位の決定など、異なる路面間で同水準の乗り心地が想定される場合には、Upper Limit曲線を参照することで効果的な被験者数の設定が可能である。ただし、路面乗り心地評価における体感試験は、ある2路面の乗り心地に差がある場合、それを利用者の立場から保証することに関心があるため、微小な乗り心地差異を問題にすることは少ないものと考えられる。また、事前に、異なる路面間の乗り心地差異の把握が困難な場合もある。そのため、路面維持管理における実務上、Mean曲線を参照し、予め必要とする信頼区間を設定した上で、被験者

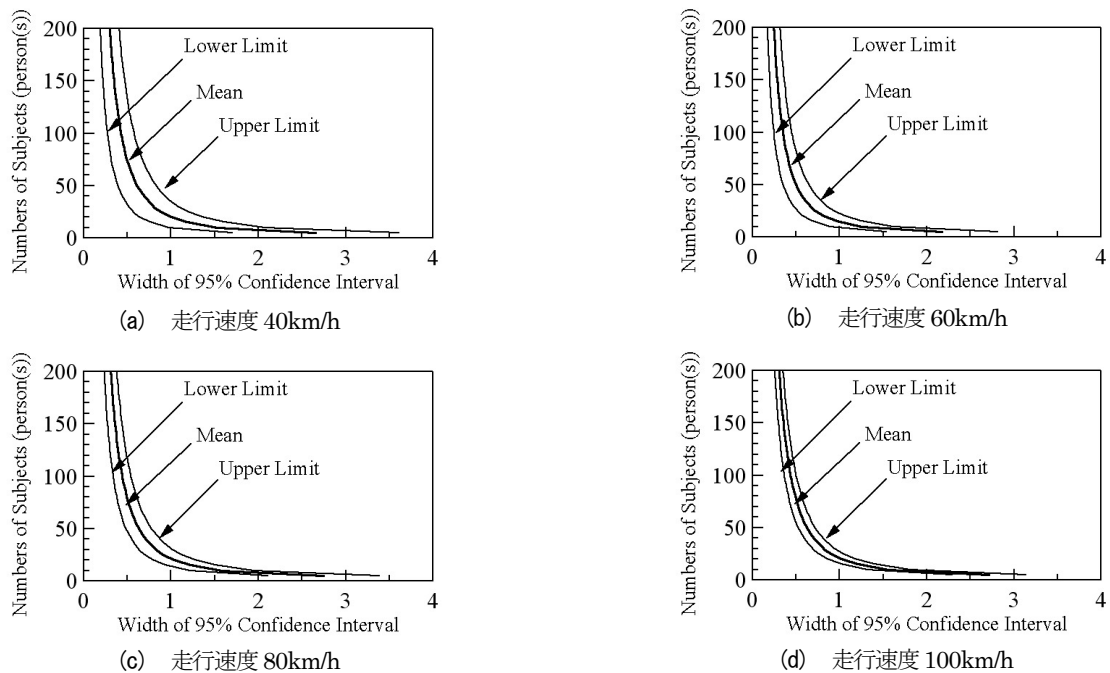


図-5 被験者数と信頼区間の幅の関係 (被験者数設定図)

数を設定すべきである。

(5) 信頼区間幅および被験者数の目安

前説において、信頼区間に基づく被験者数算定のための図を示した(図-5)。これ以降、図-5を「被験者数設定図」とする。被験者数設定図を用い、所要の信頼区間の幅を設定することで、容易に体感試験に要する被験者数の設定が可能である。

しかし、被験者数算定に資する信頼区間の幅は、個々の研究課題に委ねられるため、今後、路面乗り心地の体感評価に関する多くの研究報告が待たれるところである。本研究では、信頼区間の幅に基づく被験者数の設定について、以下の目安を提案する。

- (a) 体感による路面乗り心地評価の平均的なばらつきを考え、被験者数設定図におけるMean曲線を参照する。
- (b) 5段階評価尺度の、少なくとも1評価点の違い、即ちMPR 差±0.5は判別できるものとし、信頼区間の幅を1とする。
- (c) 上記の条件に基づき、被験者数設定図より、路面乗り心地の体感試験に要する被験者数は、速度水準によらず20名以上とする。

4. まとめ

体感により路面乗り心地を評価し、統計的に結果を解釈する場合、その信頼性および妥当性は被験者数に大きく依存する。本研究では、従来理論的根拠が不明であった路面乗り心地の体感試験における被験者数について、

統計的信頼区間に基づき設定するための視点および方法を示した。以下に、本研究のまとめを示す。

- (a) KITDSを用いた体感試験を実施し、信頼区間の算定に資する、不偏分散の平方根を推測し、95%信頼区間幅に基づき被験者数の設定が可能で被験者数設定図を示した。被験者数設定図を用いることで、容易に体感試験に要する被験者数の設定が可能である。
- (b) 路面補修など、予め大きな乗り心地の改善効果を想定する場合は、被験者数設定図のLower Limit曲線を参照し、補修優先順位の決定など、異なる路面間で同水準の乗り心地が想定される場合には、被験者数設定図のUpper Limit曲線を参照することで、体感試験における被験者数の効果的な設定が可能である。ただし、路面維持管理の実務上、事前に異なる路面間の乗り心地差を想定せず、Mean曲線を参照し、体感試験における被験者数を設定すべきである。
- (c) 路面乗り心地の体感試験に関する信頼区間幅の設定については、今後、多くの研究報告が待たれるところである。本研究では、路面乗り心地評価における被験者数について、少なくともMPR 差±0.5の判別が可能となるよう、95%信頼区間幅を1とし、被験者数設定図のMean曲線に基づき、20名以上とすることを提案した。

参考文献

- 1) 日本道路協会：舗装の性能評価法 -必須および主要な性能指標の評価法編、丸善、2006。
- 2) Sayers, M.W. and Karamihis, S.M.: Estimation of Rideability by Analyzing Longitudinal Road Profile, Transportation Research

- Record, No. 1536, pp.135-149, 1994.
- 3) Spangler, E.B., and Kelly, W.J.; Development and Evaluation of the Ride Number Concept, Vehicle-Road Interaction, ASTM STP 1225, B. T. Kulakowski, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, pp.135-149, 1994.
 - 4) 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, Vol.43, No.7, pp.27-30, 2008.
 - 5) Papagiannakis, A.T., and Raveendran, B.: International Standards Organization-Compatible Index for Pavement Roughness, Transportation Research Record, No.1643, pp.110-115, 1998.
 - 6) ISO2631: Mechanical Vibration and Shock – Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration - Part1: General Requirements, ISO2631-1, 1997.
 - 7) Janoff, M.S., Nick, J.B., Davit, B.S., and Hayhoe, G.F.: Pavement Roughness and Rideability, National Cooperative Highway Research Program Report 275, 1985.
 - 8) Chou, C.P., and Wu, C.L.: Evaluation of Panel Characteristics and User-Based Pavement Serviceability, Transportation Research Record, No.1592, pp.98-106, 1997.
 - 9) Chafizadeh, K., and Mannering, F.: Statistical Modeling of User Perceptions of Infrastructure Condition: Application to the Case of Highway Roughness, Journal of Transportation Engineering, Vol.132, No.2, pp.133-140, 2006.
 - 10) 南風原朝和: 心理統計学の基礎—統合的理解のために, 有斐閣, 2002.
 - 11) 森 敏昭, 吉田寿夫: 心理学のためのデータ解析テクニカルブック, 北大路書房, 1990.
 - 12) Cohen, J.: Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences, Lawrence Erlbaum Assoc Inc, 1988.
 - 13) 芝 祐順, 南風原朝和: 行動科学における統計解析法, 東京大学出版会, 1990.
 - 14) 永田 靖: サンプルサイズの決め方, 朝倉書店, 2003.
 - 15) 富山和也, 川村 彰, 石田 樹, 高橋 清: 路面の体感評価試験における被験者数について, 土木学会舗装工学論文集, 第13巻, pp.9-15, 2008.
 - 16) 富山和也, 川村 彰, 石田 樹: ドライビングシミュレータを用いた路面の乗り心地評価に要する被験者数の算定, 土木学会年次学術講演会概要集, Vol.64, V-050 (CD-ROM), 2009.
 - 17) 舟喜 光一, 折笠 秀樹: 信頼性の統計学—信頼区間および統計ガイドライン, サイエンティスト社, 2001.
 - 18) 鈴木浩明: 快適さを測る—その心理・行動・生理的影響の評価, 日本出版サービス, 1999.
 - 19) Mechanical Simulation Corporation: CarSim Reference Manual, 2006.
 - 20) Kawamura, A., Takahashi, M. and Inoue, T.: Basic Analysis of Measurement Data from Japan in EVEN Project, Transportation Research Record, No.1764, pp.232-242, 2001.
 - 21) 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.
 - 22) Kawamura, A., Maeda, C., Shirakawa, T., Ishida, T., Nakatsuji, T., and Himeno, K: Applicability of a Driving Simulator as a New Tool for the Pavement Surface Evaluation, Proceedings of the SIIV2004 International Congress, CD-ROM. 2004.
 - 23) カヤバ工業出版株式会社編: 自動車のサスペンション, 山海堂, 2005.
 - 24) 足立修一: MATLABによるデジタル信号とシステム, 東京電機大学出版局, 2002.
 - 25) 石田樹, 岳本秀人, 川村彰, 白川龍生: ドライビングシミュレータによる舗装路面の乗り心地・安心感評価, 舗装工学論文集, 第9巻, pp.49-56, 2004.
 - 26) 吉田寿夫: 心理学研究法の新しいかたち, 誠信書房, 2006.
 - 27) 山田剛史, 杉澤武俊, 村井潤一郎: Rによるやさしい統計学, オーム社, 2008.
 - 28) 広津千尋: 医学・薬学データの統計解析, 東京大学出版界, 2004.

A DETERMINATION METHOD OF NUMBERS OF SUBJECTS FOR PAVEMENT RIDE QUALITY RATINGS BASED ON THE STATISTICAL CONFIDENCE INTERVAL

Kazuya TOMIYAMA, Akira KAWAMURA, Tateki ISHIDA and Kiyoshi TAKAHASHI

This study shows the method of determining the numbers of subjects (sample size) for pavement ride quality ratings based on the statistical confidence interval. The sample size calculation using the confidence interval depends on the estimated statistic of unbiased variance (UV). In this study, a driving simulator experiment was conducted to estimate the UV for the pavement ride quality ratings. According to the experimental results, we developed a figure for the sample size determination based on the width of 95% confidence interval. In the practical perspective on the pavement management activities, subjective experiments of ride quality evaluation need to keep the precision of ± 0.5 ratings (95% confidence interval = 1) with a sample size of twenty members.