

# 路面の平坦性が車の乗心地・安心感に与える影響の定量的評価

## KIT ドライビングシミュレータを用いて

Quantitative evaluation of the influences of evenness on riding comfort and sense of safety

北見工業大学大学院  
北見工業大学工学部  
北海道開発土木研究所  
北見工業大学工学部  
北見工業大学大学院

学生員 坂井 勇太 (Yuuta Sakai)  
正員 川村 彰 (Akira Kawamura)  
正員 石田 樹 (Tateki Ishida)  
正員 白川 龍生 (Tatsuo Shirakawa)  
学生員 前田 近邦 (Tikakuni Maeda)

### 1. はじめに

路面は、道路利用者との接点であり路面プロファイルは、走行の乗り心地・安全性などに大きな影響を与える。

しかし、現在、路面の損傷評価として用いられている維持管理指数 (Maintenance Control Index: MCI) は、道路管理者の視点からみた路面評価指標であり、乗り心地や安心感といった道路利用者の視点は反映されていない。このことから、近年、より道路利用者の視点に重点をおいた評価指標として注目されているのが、国際ラフネス指数 (IRI: International Roughness Index) である。そこで、本研究では、石田らが路面の平坦性が乗り心地と安心感及び修繕の必要性に与える影響についてドライビングシミュレータを用いて被験者による主観的評価を行った結果<sup>1)</sup>を基に、それらを上下方向加速度を用いて定量化し、客観的評価を行うことを試みた。

### 2. ドライビングシミュレータの概要

北見工業大学のドライビングシミュレータは、路面の状態 (凹凸、摩擦係数など) を模擬できる試験装置である。大別すると、6軸のモーションベースや振動機能付のシートを搭載したコックピット部、グラフィックス及び車両運動計算用ワークステーション、ホスト PC から構成される (図 - 1)。



図 - 1 ドライビングシミュレータのシステム図

また、データロギング機能により走行時の速度、上下方向加速度、前後方向加速度、横方向加速度、ロール角度、ヨー角度、ピッチ角度といった車両の挙動情報、ステアリング操舵角度、アクセル開度、ブレーキ開度、クラッチ開度といった車両の操作情報が取得可能である。

### 3. 試験方法

本試験では、ドライビングシミュレータを用いた被験者 20 名による走行試験を実施した。

試験手順は、(ア) 走行コースなど各種条件をドライビングシミュレータに設定、(イ) 被験者による模擬運転、(ウ) 主観的評価 (アンケート) の実施、の三段階で実施した。

試験条件は、(ア) 5 種類の路面凹凸 (IRI=1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0mm/m) (イ) 3 段階の速度 (V=60, 80, 100km/h) として設定し、被験者一人あたり 15 回走行した。

走行コースの線形は全長 1,600m、幅員 10m の 2 車線 (直線) で設計しており、片側 1 車線の幅員は 3.5m である。走行コースは 3 区間に分割しており、加速及び減速区間が各 300m、路面凹凸区間が 1,000m とした。路面凹凸区間には開始地点 (「START」)、中間地点 (「500m」)、終了地点 (「GOAL」) を示す標識を設置した (図 - 2)。

コース作成における考慮点としては、舗装表面及びコース周辺の画像は極力シンプルなものとし、配色に関しては同様とした (写真 - 1)。これは、画像や配色の程度によってはアンケートの設問にある乗り心地及び安心感の結果に悪影響が生じる可能性があるためである。

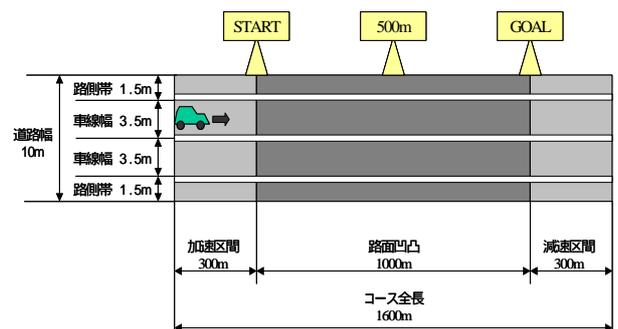


図 - 2 走行コース

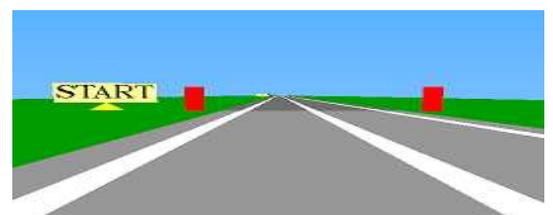


写真 - 1 走行コース (運転席から見た画像)

本試験では、特定の波長成分を含まない定常確率過程に基づくガウス分布を示す5種類の路面凹凸を用意する必要があり、さらに IRI 値が指定されているため、路面凹凸を計算機シミュレーションにより作成した。IRI=1.0~5.0mm/mの路面凹凸を図-3に示す。なお、凹凸形状は全幅員にわたり同一の形状とし、サンプリング間隔は $t=0.25m$ 、摩擦係数は $\mu=0.75$ と設定した。

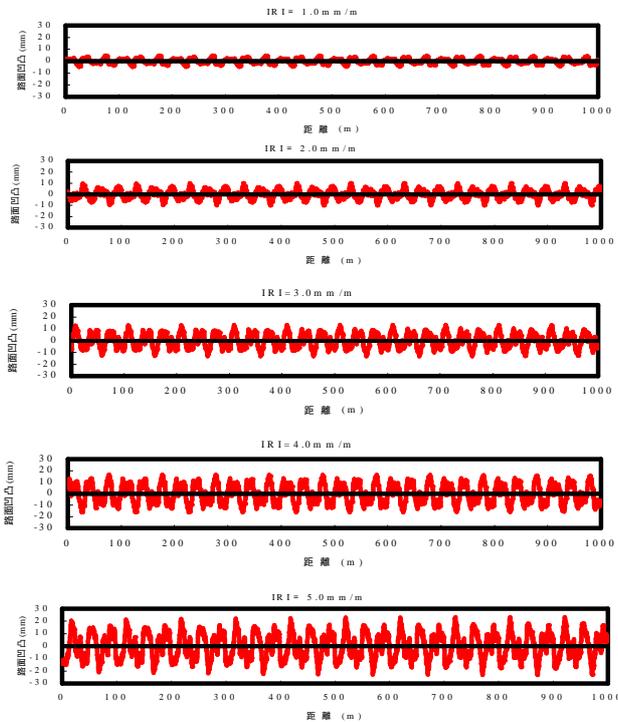


図-3 作成したコースの縦断プロフィール

本試験で用いたドライビングシミュレータは、異なる車両条件での走行を可能とするため、プログラム上で車両諸元の設定が可能である。今回の試験の場合一般的な乗用車の車両条件が必要であるため、ドライビングシミュレータのデフォルト設定値(自動車学校で使用する教習車と同等)を使用した。

被験者については、北海道北見市内に居住する20名(男女各10名、22~50歳)に協力を得た。

被験者調査条件を表-1に示す。

表-1 被験者調査条件

調査回数	各1回
判定	5段階
走行速度	60, 80, 100km/h
調査単位	1000m
路面条件	IRI = 1.0~5.0mm/h
被験者内訳	20代 男5名 女2名
	30代 男2名 女5名
	40代 男3名 女2名
	50代 女1名
	男 10名 女 10名 計 20名

本試験では、1回走行する度にアンケート調査(被験者が調査用紙へ記入)を実施した。アンケートで設定した設問内容は以下の通りである。

Q1: 乗り心地はいかがでしたか?

良い やや良い どちらともいえない やや悪い 悪い

Q2: 安心して運転できましたか?

安心 やや安心 普通 やや危険 危険

Q3: いま走行した舗装は修繕が必要だと思いますか?

ぜひ必要 必要 どちらともいえない 不要 全く不要

#### 4. アンケート結果

結果に関しては、石田らが文献<sup>1)</sup>において明らかにしているが、本研究では比較を容易にするため、図-4、図-5について縦軸を反転する等の修正を加えた。

##### 1) 乗り心地評価

速度別の IRI と乗り心地評価の関係を図-4に示す。

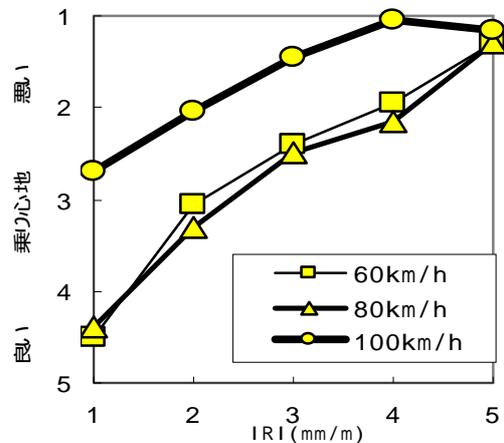


図-4 IRI と乗り心地評価の関係<sup>1)</sup>

IRI 値が大きくなるのに伴い評価が低下する傾向が見られた。走行速度が60km/h及び80km/hではほぼ同様の傾向を示しているのに比較し100km/hでは評価は大きく低下した。

##### 2) 安心感評価

速度別の IRI と安心感評価の関係を図-5に示す。

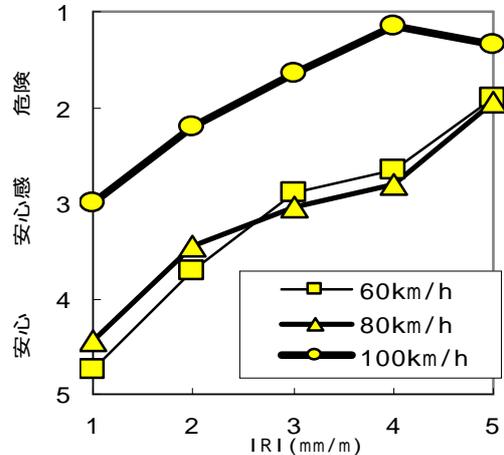


図-5 IRI と安心感評価の関係<sup>1)</sup>

乗心地と同様に IRI 値が大きくなるのに伴い評価が低下する傾向が見られた。走行速度が 60km/h 及び 80km/h ではほぼ同様の傾向を示しているのに比較し 100km/h では評価は大きく低下する点も乗心地評価と同様であった。

### 3) 修繕の必要性

速度別の IRI と修繕の必要性の関係を図 - 6 に示す。

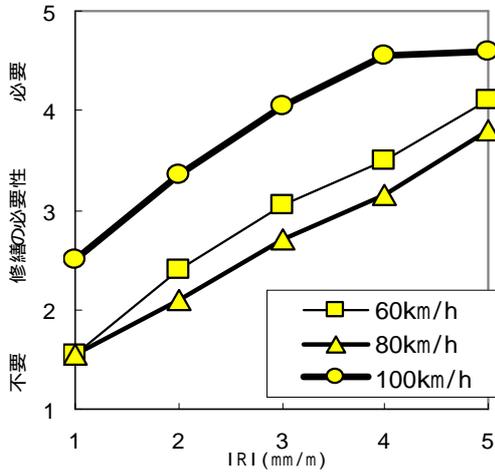


図 - 6 IRI と修繕の必要性の関係<sup>1)</sup>

IRI 値が大きくなるのに伴い修繕の必要性が増加する傾向が見られた。走行速度が 60km/h 及び 80km/h ではほぼ同様の傾向を示しているのに比較し 100km/h では修繕の必要性が大きく増加した。

### 5. アンケート結果についての考察

本実験では、被験者の走行時の各種データをドライビングシミュレータのデータロギング機能により記録した。これより得られた各種データのうち、上下方向加速度に着目し、比較・検討を行う。

上下方向加速度実効値と快適性の間にはほぼ表 - 2 のような関係があることが参考値として示されている。

表 - 2 上下方向加速度実効値と快適性との関係

0.315m/s <sup>2</sup> 未満	不快でない
0.315 ~ 0.63 m/s <sup>2</sup>	少し不快
0.5 ~ 1 m/s <sup>2</sup>	やや不快
0.8 ~ 1.6 m/s <sup>2</sup>	不快
1.25 ~ 2.5 m/s <sup>2</sup>	非常に不快
2m/s <sup>2</sup> を超える	きわめて不快

(ISO2631-1)

\* 実効値 (Root Mean Square : RMS) の計算式

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i^2)} \quad \dots \dots (1)$$

式 (1) により各被験者の上下方向加速度の実効値を

求め、各条件の平均値をまとめたものを表 - 3 に、速度別の IRI と上下方向加速度実効値の関係を図 - 7 に、最大上下方向加速度の各条件の平均値を表 - 4 に、IRI と最大上下方向加速度の関係を図 - 8 に示す。

表 - 3 上下方向加速度実効値 (m/s<sup>2</sup>)

		IRI(mm/m)				
		1	2	3	4	5
V(km/h)	60	0.09	0.17	0.25	0.33	0.43
	80	0.12	0.23	0.34	0.46	0.59
	100	0.19	0.37	0.53	0.71	0.89

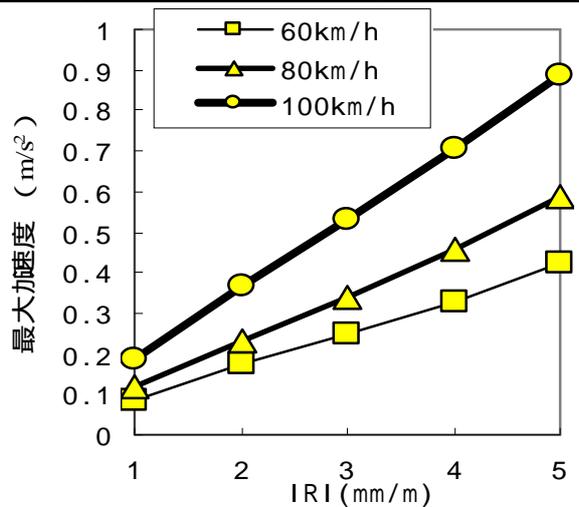


図 - 7 IRI と上下方向加速度実効値の関係

表 - 4 最大上下方向加速度 (m/s<sup>2</sup>)

		IRI(mm/m)				
		1	2	3	4	5
V(km/h)	60	0.25	0.47	0.53	0.79	0.96
	80	0.35	0.59	0.78	1.08	1.27
	100	0.87	1.10	1.52	1.98	2.34

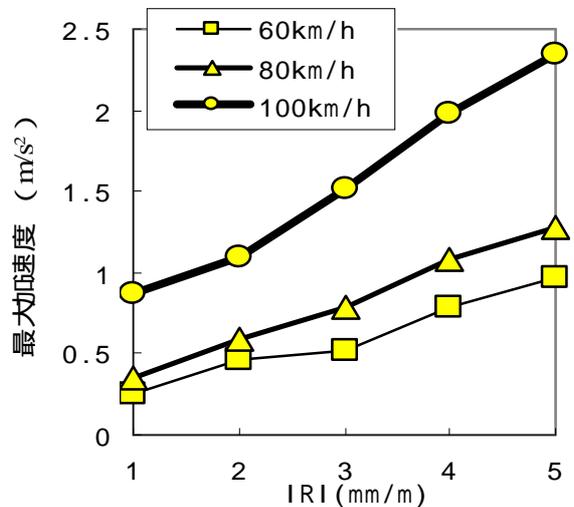


図 - 8 IRI と最大上下方向加速度の関係

図 - 7, 図 - 8 より, IRI 値が大きくなるのに伴い, 上下方向加速度実効値, 最大上下方向加速度ともに増加する傾向が見られる。また, 走行速度が 60km/h 及び 80km/h の時と比較し, 100km/h の増加率は大きい。図 - 7 に関して, 表 - 2 の上下方向加速度実効値と快適性との関係と比較すると, 100km/h の上下方向加速度実効値は IRI 1mm/m を除く全ての区間でやや不快あるいは不快の範囲にある。これらは, 乗心地及び安心感評価に関して走行速度 100km/h での評価が大きく低下し, 修繕の必要性に関して 100km/h での修繕の必要性が大きく増加する要因の一つであると考えられる。

その他の要因としては, 被験者のコメントや試験中の被験者の状況から推察すると, 速度を一定に保つことに気をとられて運転に余裕がなくなったこと, 被験者が北見市在住であり, 日常的に高速道路等を利用する環境にないため, 100km/h という速度に不慣れであったこともその一因であると考えられる。

次に, 過半数の被験者が乗心地を「悪い」及び「やや悪い」と評価した走行パターン及び走行パターンごとの上下方向加速度実効値範囲を整理した。安心感, 修繕の必要性に関して同様に整理し, 表 - 5 にまとめて示す。

表 - 5 シミュレータ試験結果のまとめ

01 乗心地		IRI (mm/m)				
		1	2	3	4	5
V (km/h)	60	良い~普通 (0.08 - 0.25m/s <sup>2</sup> )		やや悪い (0.25 - 0.51m/s <sup>2</sup> )		悪い (0.51 - 1.06m/s <sup>2</sup> )
	80					
	100	やや悪い				
02 安心感		IRI (mm/m)				
		1	2	3	4	5
V (km/h)	60	安心~普通 (0.08 - 0.42m/s <sup>2</sup> )				やや危険 (0.42 - 0.65m/s <sup>2</sup> )
	80					
	100	やや危険		危険 (0.65 - 1.06m/s <sup>2</sup> )		
03 修繕の必要性		IRI (mm/m)				
		1	2	3	4	5
V (km/h)	60	全く不要~どちらともいえない (0.08 - 0.37m/s <sup>2</sup> )			必要 (0.37 - 0.65m/s <sup>2</sup> )	
	80					
	100	必要		ぜひ必要 (0.65 - 1.06m/s <sup>2</sup> )		

これらは, 表 - 2 の上下方向加速度実効値と快適性との関係ともよく整合している。

参考として, 表 - 5 における各評価区間の上下方向加速度を図 - 9, 図 - 10, 図 - 11 に示す。

なお, 同一条件の IRI 値, 走行速度では, 各被験者の上下方向加速度は若干の個人差はあるものの, ほぼ同様の波形を示した。

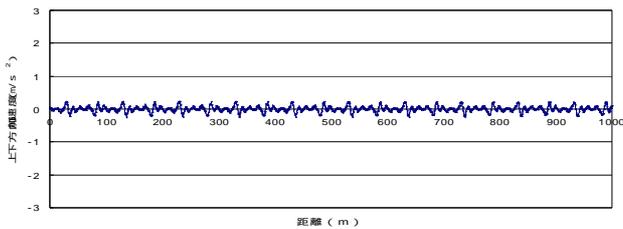


図 - 9 上下方向加速度(評価:乗心地「良い~普通」, 安心感「安心~普通」, 修繕の必要性「全く不要~どちらともいえない」 区間: )

上下方向加速度実効値 0.09m/s<sup>2</sup>

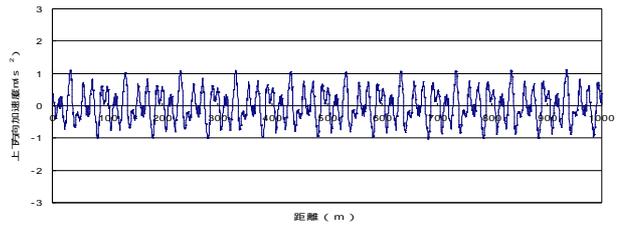


図 - 10 上下方向加速度(評価:乗心地「やや悪い」, 安心感「やや危険」, 修繕の必要性「必要」 区間: )  
上下方向加速度実効値 0.48m/s<sup>2</sup>

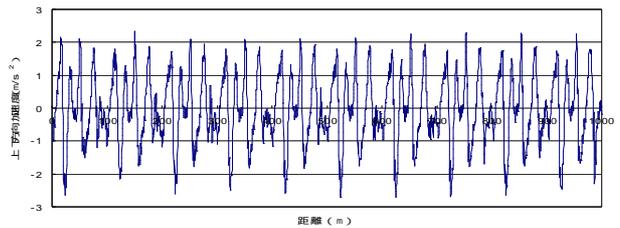


図 - 11 上下方向加速度(評価:乗心地「悪い」, 安心感「危険」, 修繕の必要性「ぜひ必要」 区間: )  
上下方向加速度実効値 1.06m/s<sup>2</sup>

## 6. まとめ

本研究で得られた知見は以下の通りである。

- IRI 値が増加すると乗心地及び走行安心感評価は低下し, 被験者が感じる修繕の必要性は高まる。
- 走行速度が増加すると乗心地及び走行安心感評価は低下し, 被験者が感じる修繕の必要性は高まる。
- 参考として, 乗心地, 安心感, 修繕の必要性の評価とその評価区間においての上下方向加速度実効値の範囲を示した。
- 路面の平坦性評価にドライビングシミュレータを用いることの有用性が認められた。

## 参考文献

- 1) 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心地・安心感評価, 土木学会舗装工学論文集, 第9巻, 2004
- 2) 白石修士: 運転教習のための小型ドライビングシミュレータの開発, 自動車技術, Vol.55, No.11, pp.72-77, 2001.
- 3) Kawamura, A. and Kaku, T.: An Evaluation of Road Roughness and the Effects on Riding Comfort and Vehicle Dynamics, Proceedings of Japan Society of Civil Engineers, No.359/IV-2, pp.137-147, 1985.
- 4) 小川進, 阿部忠行: 舗装の縦断凹凸のフラクタルによる評価, 土木学会 論文集, No.490/V-23, pp.131-136, 1994