路面のラフネスに対する 車両乗員の生理心理反応と許容限界評価

富山和也¹・川村 彰²・Riccardo Rossi³・Massimiliano Gastaldi⁴・Claudio Mulatti⁵

¹正会員 博士(工) 北見工業大学 工学部 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165)

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

²正会員 博士(工) 北見工業大学 工学部 (〒090-8507 北海道北見市公園町 165)

³Non-member, Ph.D., Dept. of Civil, Architectural and Environmental Eng., University of Padova
(Via Marzolo, 9 35131 Padova, Italy)

⁴Non-member, Ph.D., Dept. of Civil, Architectural and Environmental Eng., University of Padova
(Via Marzolo, 9 35131 Padova, Italy)

⁵Non-member, Ph.D., Dept. of Developmental Psychology, University of Padova
(Via Marzolo, 8 35131 Padova, Italy)

本研究は、車両乗員の安全性および快適性の観点から、路面のラフネスとヒトの精神的ストレスおよび認知に関わる生理心理応答との関係について、ドライビングシミュレータを用いた走行試験を実施し検討したものである。結果として、国際ラフネス指数 (*IRI*) の増加に伴い、心理応答である反応時間が有意に増加する場合、生理的な心拍変動指標により定量化された短期および長期的な精神的ストレスが共に増加することがわかった。この結果より、ラフネスの増加は、快適性の低下のみならず、疲労の増加に伴う反応時間の増加により、安全性の低下につながることを明らかにした。また、ヒトの生理心理反応に基づき、幹線道路における *IRI* の許容限界について検討したところ、5.4 mm/m となり、既存の研究成果を裏付ける結果が得られた。

Key Words : *surface roughness, reaction time, heart rate variability, physiopsychology, driving simulator*

1. はじめに

道路と車両の接点となる路面の状態は、利用者評価に直結することから、質的満足度の高い社会基盤整備を行う上で欠かすことのできない要因である。そのため、路面の定期点検結果に基づく定量的な性能評価は、限られた投資予算で効果的に道路ストックを運用していく上で必要不可欠である。さらに、国内外において車両の自動走行実現へ向けた研究開発が盛んに行われている今日、豊かなモビリティ社会を実現し維持していくためには、快適性および安全性に関わる路面性能の確保は、さらに重要さを増すものと考えられる。特に、路面のラフネスは、快適な交通を確保する上で必須の性能指標であり¹⁾、舗装のサービス性能に直結することから²⁾、その合理的な評価は、

道路利用者に対し質の高い道路交通サービスを提供する上で極めて重要な役割を果たす。

従来から、ラフネスは、走行車両の振動要因となり、乗員に直接影響を及ぼすことから、その評価には、路面とヒトおよび車両の特性に関する以下の指標を用いた検討がなされている。

(1) 物理指標：ラフネスを直接評価するための指標として、国際ラフネス指数 (*International Roughness Index: IRI*)³⁾が世界的に標準の指標として用いられている。ISO では、パワースペクトル密度 (*Power Spectral Density: PSD*) により路面プロファイルの振幅を評価する方法⁴⁾を規定している。また、路面を走行する車両の振動加速度に基づき、乗員の全身振動曝露量を定量化し、ラフネスと関連付ける方法⁵⁾が提案されて

いる。

- (2) 心理指標：道路利用者を対象に走行試験を実施し、特に乗り心地に立脚した車両乗員の体感に基づくアンケート評価値とラフネスを関連づける研究が古くから行われている^{6,7)}。
- (3) 生理指標：生体センシング技術の発達により、車両乗員の心拍数⁸⁾や脳波⁹⁾計測に基づく生理指標とラフネスを関連づける研究がなされている。

このように、ラフネス評価に関わる要素は非常に多岐にわたり、例えば、ISO では、全身振動曝露に関する評価方法 ISO2631-1 (1985)¹⁰⁾で示されていた曝露限界が、同(1997)¹¹⁾の改訂版では取り下げられ、乗り物の振動については不快感と対応したおおよその加速度範囲を付録として示すに留まっており、人の快適性評価の複雑さが窺える。また、従来のラフネスに関する研究は、振動乗り心地に立脚したものが主であり、安全性と快適性に基づきラフネスと利用者評価を関連づける上で、ヒトの情報に基づく定量的な検討は未だ不十分であると考えられる。

本研究の目的は、路面条件を考慮した走行試験により、上述の物理・心理・生理的視点を統合し、ラフネスに対するヒトの生理心理反応および許容限界について明らかにすることである。そこで、本研究では、車両乗員の安全性および快適性の観点から、ラフネス指標である *IRI* と、ヒトの認知処理に関わる心理的な注意資源¹²⁾および精神的ストレスに関わる生理的な自律神経系の活動¹³⁾との関係に基づく検討を行う。

なお、本研究における走行試験は、試験参加者（以下、「参加者」）の安全性に配慮し、かつ必要とする路面条件を効率的に確保するため、予めラフネス評価への適応性が検証された、路面評価型のドライビングシミュレータ（以下、「DS」）¹⁴⁾を用い実施した。

2. 物理・心理・生理指標の概要

本研究では、物理・心理・生理的な要因を考慮したラフネス評価にあたり、既往研究^{3),5),9)}を参考に、各要因について以下の代表的な指標を用いる。

(1) 物理指標

物理指標は、ラフネスの評価指標として世界的に標準となっており、国内でも、近年策定された舗装点検要領¹⁵⁾において必須の点検項目となっている *IRI* を用いる。

(2) 心理指標

複数の作業や情報の認知的処理に対し、同時に向けられる注意は分割されて配分される。その処理に必要な心的エネルギーが注意資源であり、その量には限界がある

ことが知られている¹²⁾。例えば、複数与えられた刺激の一つに注意を向けた場合、異なる刺激での注意資源量が低下し、要求課題へのパフォーマンスが低下する。この注意資源が影響する認知過程の把握には、与えられた刺激に対する反応時間 (Reaction Time) を指標とした行動的方法により評価することができる。そのため、反応時間は、道路交通環境下での運転行動評価への適用事例が報告されている¹⁶⁻¹⁸⁾。本研究では、ラフネスがヒトの認知処理に及ぼす影響を把握するため、反応時間を心理反応の指標として用いる。

(3) 生理指標

ヒトの生理反応は、生体センシング技術の発達により、簡便かつ非拘束・非侵襲での計測が可能となっている。精神的ストレスの評価には、心拍変動の周波数領域における自律神経系指標の有効性が確認されている¹³⁾。心拍変動とは、心拍数の揺らぎであり、精神的ストレスなどによって変化する自律神経系の活動を表す重要な生体情報の一つである。特に、既往研究¹⁹⁾では、心拍変動解析により、路面由来の車両振動に起因する潜在的な精神的ストレスの把握が可能であることを明らかにしている。そこで、本研究では、精神的ストレスに関わる生理的な反応として心拍変動に着目する。特に、心拍変動は、周波数領域における高周波成分 (HF: 0.15-0.4Hz) と低周波成分 (LF: 0.04-0.15Hz) から、副交感神経系および交感神経系のストレス指標として高周波成分 HF および低周波高周波成分比 LF/HF を用いる。ここで、副交感神経系を表す HF は安静状態、即ちストレスのない状況下で増加し、交感神経系を表す LF/HF はストレス状況下で増加する性質がある。

3. DS による走行試験

(1) DS の概要

DS を用いた走行試験は、実道試験に比べ、安全性の確保や実験条件の容易な設定、同一条件で繰り返し試験が行えるなど多くの利点を有する。本研究では、ラフネスに起因する車両振動以外の環境変動要因を排除し、試験条件を単純化するため、路面性状に関する実データの利用および再現が可能な、北見工業大学所有の路面評価型 DS を用いて走行試験を実施した。路面評価型 DS は、ラフネスと関連する数センチメートル単位の路面波長まで再現することが可能である。また、路面評価型 DS による仮想環境下での走行試験結果は、実道試験と同様の傾向が得られることを確認している¹⁴⁾。

(2) 試験シナリオ

走行試験における路面条件は、一般道路の新設、供用中

図-1 走行試験における路面プロファイル

図-2 走行試験シナリオ

図-3 DSによる走行試験状況

および供用後の破損が生じた状態を想定し、 IRI が(a) 0.9, (b) 5.3 および(c) 10.5 mm/m の3水準とした。走行試験における路面は、図-1 に示すプロファイルを用い、後述の心理刺激提示前後の平均 IRI が所要の値となるよう設定した。走行条件は、運転操作による生理・心理的負荷の影響を排除するため助手席状態とし、1 試行あたり、各被験者に対しランダムに与えられた各路面水準について、幹線道路を想定した走行速度 60 km/h で 20 秒間体験するよう設定した。試行回数は、各路面条件を 15 回の計 45 回である。走行試験シナリオおよび走行試験状況は図-2 および図-3 に示す通りであり、各試行において以下の心理および生理反応を計測した。

a) 心理反応

心理反応は、各路面状況において、音刺激弁別試験により計測した。音刺激弁別試験とは、走行開始から約 10 秒後に適度に弁別が負荷となるよう高音・中音・低音と音程の異なる音刺激を参加者に提示し、刺激認知後直ちに与えられた音程を発声により「できる限り速く正確に」回答するよう指示することで、刺激提示から回答までの反応時間を計測するものである²⁰⁾。なお、反応時間の計測は、

図-4 音程識別課題正答時の反応時間の頻度分布

ヘッドフォンによる音刺激の提示から回答までの反応時間をミリ秒単位で記録可能な Voice Key を用いた。

b) 生理反応

生理反応は、指尖脈波計測値の二階微分による脈波加速度により得られた心拍変動データをもとに、HF および LF/HF により計測した。ここで、HF および LF/HF は、生理反応に及ぼす要因をラフネスに限定するため、上記の心理反応計測に資する課題刺激提示直前までの値を用いた。

(3) 試験参加者

走行試験には、参加者として、健常な男女 24 名（女性 12 名、平均年齢 21.6 歳）の協力を得た。また、本試験は、北見工業大学「人を対象とする研究倫理審査委員会」の承認を受け、全ての被験者から自由意志による試験参加への同意を得た上で実施した。なお、女性被験者 1 名については、前述の心理および生理反応の計測エラーによる欠測のため、以下の解析では 23 名から得られたデータを解析対象とした。

4. 心理および生理反応の解析結果

本章では、ラフネスが生理心理反応に及ぼす影響を明らかにするため、DS による走行試験データに基づき、2 章で述べた各指標を用いた解析結果を示す。

(1) 心理反応

a) 測定結果の概要とスクリーニング

図-4 に全ての路面条件下における反応時間の頻度分布を示す。なお、音程の判別が誤答となったものは、「できる限り速く正確に」回答するという課題を正しく遂行できていないため、結果から除外している。図-4 は、得られた全 1035 点から、誤答であった 157 点 (15.2%) を除く 878 点のデータを示している。図より、反応時間は対数正規分布により近似できることがわかる。また、平均値より極端に長い反応時間が計測されている。これらの結

図-5 IRI ごとの平均反応時間

図-6 基準路面 (IRI=0.9 mm/m) との反応時間差

果も、課題を正しく遂行できていないものと考えられる。そこで、正答時の反応時間を対数変換し、平均値から標準偏差の3倍以上異なる値を外れ値として除外した。また、本研究では、路面条件の違いによる反応時間に着目しているため、音程の違いは考慮せず、IRI 値ごとに各音程から得られた反応時間の平均値を用いて解析を行う。

b) 反応時間と IRI の関係

図-5 に IRI 毎の平均反応時間を示す。図より、IRI が増加するに従い、反応時間も増加する傾向にあるが、IRI を独立変数とし反応時間を従属変数とした有意水準 5% での対応のある一元配置分散分析の結果、IRI の主効果に有意差はみられず ($F(2, 44) = 0.78, p > 0.05$)、個人差で有意 ($F(22, 44) = 16.65, p < 0.05$) となった。ここで、反応時間の絶対値の解釈は困難であるため、図-6 に示す通り、被験者ごとに IRI が 0.9 mm/m の路面より得られた結果を基準とし、IRI が 5.3 mm/m および 10.5 mm/m における条件下で得られた反応時間との相対的な差の平均値を求め整理した。図中、参加者 6 は上述の通り欠測となっている。図より、反応時間は、基準路面上で得られた値に比べ、減少する場合と増加する場合が同程度存在することがわかった。そこで、本章では、図-6 に示す様に基準路面からの反応時間が減少したグループ A と増加したグループ B の参加者グループに分けて実施する。なお、参加者 21 は、解析対象とした全参加者の平均的な反応時間差に対し、5% 有意水準の棄却域に相当する標準偏差の2倍以上異なる結果となったことから、以降の解析では除外する

(a) グループ A：基準路面に対し反応時間が減少する参加者群

(b) グループ B：基準路面に対し反応時間が増加する参加者群

図-7 IRI と参加者グループ毎の平均反応時間の関係

こととした。

c) 参加者グループ別の反応時間解析

図-7 に、前項で判別したグループ毎の平均反応時間を示す。また、分散分析において、主効果が有意となった場合には、事後にテューキーの HSD 法により多重比較検定を行なった。図より、グループ A では、主効果に有意差がみられなかった ($F(2, 18) = 2.97, p > 0.05$)。一方、グループ B では、主効果に有意差があり ($F(2, 22) = 12.96, p < 0.05$)、多重比較の結果、IRI が 0.9 mm/m と 10.5 mm/m および 5.3 mm/m と 10.5 mm/m の間で有意差がみられた。このことから、反応時間が増加する参加者は、運転行動が伴わない場合であっても、ラフネスが注意資源に影響を及ぼす結果となった。

(2) 生理反応

生理反応の解析は、前節で除外されたデータが得られた試行時の結果を除き、反応時間との対応を取った上で実施した。以下に心拍変動指標による生理反応の解析結果を示す。

a) HF と IRI の関係

図-8 に、参加者グループ毎の IRI と HF の関係を示す。ここで、HF は値が小さい程ストレスが高いことを表す。図より、どちらのグループも IRI の増加に伴い HF が減少しており、精神的ストレスが増加する結果となった。また、精神的ストレスの増加傾向は各グループで同様であるが、グループ B はグループ A に比べ、精神的ストレスが高い

図-8 IRIと心拍変動指標 HF の関係

図-9 IRIと心拍変動指標 LF/HF の関係

傾向にあった。既往研究²¹⁾において、HFは乗り心地などの快適性に関わる、比較的短時間で生じる精神的ストレスとの相関が報告されており、ここで得られた結果は整合性のあるものである。

b) LF/HF と IRI の関係

図-9に、参加者グループ毎のIRIとLF/HFの関係を示す。ここで、LF/HFは値が大きい程ストレスが高いことを表す。図より、グループAでは、IRIの増加に伴いLF/HFが減少する一方、グループBでは、IRIの増加に伴いLF/HFが増加する結果となった。ここで、既往研究²¹⁾において、LF/HFは、時間変化に伴う精神的ストレスと相関し、比較的長い時間で生じる路面由来の精神的な疲労と関係することが示唆されている。この結果に鑑みると、グループAは、試験時間内での疲労の発現がなく、一方のグループBでは、疲労が発現したものといえる。このことから、グループAとグループBでは、生理反応の生じ方が異なるものといえる。車両振動刺激に対するヒトの感受性には個人差があることが指摘されているが²²⁾、本研究結果は、既往研究成果を支持するものとなった。

5. 生理心理反応に基づくラフネス評価

前章では、ラフネスの指標であるIRIと心理指標である反応時間および生理指標であるHFならびにLF/HFの関係について示した。本章では、上述の結果を俯瞰および統

表-1 IRIの増加に伴う各指標の反応

参加者 グループ	心理反応	生理反応	
	反応時間	HF	LF/HF
A	減少	減少 (ストレス増加)	減少 (ストレス減少)
B	増加	減少 (ストレス増加)	増加 (ストレス増加)

図-10 反応時間と心拍変動指標の関係

合し、ラフネスに対するヒトの反応に関するメカニズムを明らかにするとともに、IRIの許容限界について検討する。

表-1は走行試験より得られた結果を整理したものである。表におけるHFより、両参加者グループとも路面由来の精神的ストレスを受けていることは明らかである。特筆すべきは、参加者グループで異なる反応時間とLF/HFが同様の傾向を示しており、路面由来の精神的疲労と認知に関わる注意資源の間に関連性が示唆される点である。そこで、解析対象とした全参加者の反応時間と心拍変動指標について、基準路面（IRI=0.9mm/m）で得られた値からの変化量を統合しモデル化したところ、図-10に示す結果が得られた。図より、HFとLF/HFがともに精神的ストレスを表す場合に反応時間が増加することが確認できる。この結果は、ラフネスの増加が、ストレス増加に伴う快適性の低下のみならず、疲労の増加に伴う安全性の低下につながることを示している。

以上の結果に基づき、ヒトの認知に関わる注意資源の観点から、反応時間によりIRIの許容限界を設定する必要があるものと考えられる。図-11に、IRIとグループごとの各路面条件下での基準路面に対する反応時間差の平均値の関係を示す。ここで、基準路面であるIRI=0.9mm/mにおける反応時間差は、両グループとも0msであるため、グラフのマーカーが重複している。図中、IRIと反応時間差の関係は二次関数により回帰した。ここで、IRI=0.9mm/mにおける反応時間の95%信頼区間の幅を求めたところ、83.4msとなった。即ち、これ以上の反応時間の増加は偶然には生じ得ないと考えられる。そこで、図-11に

図-11 IRIと基準路面に対する反応時間差の関係

表-2 ラフネス評価に関する研究成果

物理指標	心理指標
藤田ら ²³⁾ は、市街地道路の路面モニタリングの結果、一般国道および主要地方道におけるIRIは概ね5 mm/m以下であることを報告している。	石田ら ²⁴⁾ は、DSを用いた体感試験によるアンケート評価の結果、IRIが5 mm/mの場合、走行速度60km/hでは、乗り心地が「悪」く安心感として「やや危険」であることを示している。
生理指標	本研究
富山ら ²¹⁾ は、DSを用いた体感試験の結果、路面由来の精神疲労の観点から、幹線道路におけるIRIの許容水準として5.2 mm/mが目安となることを示している。	本研究では、路面とヒトの認知に関わる心理反応および精神的ストレスに関わる生理反応を統合し検討したところ、IRIの許容限界が5.4 mm/mとなることを明らかにした。

示す回帰式から、反応時間差83.4msに対応するIRIを求めたところ、IRI=5.4mm/mとなり、この値が、乗員の安全性および快適性を考慮した幹線道路におけるIRIの許容限界の目安になるものといえる。

なお、表-2は、物理・心理・生理指標によるラフネス評価の既往研究成果を整理したものであるが、いずれの研究においても、概ねIRI=5 mm/m程度が閾値となっており、本研究結果は、IRIの許容限界として妥当なものであり、また、既往研究成果を裏付けるものとなった。

6. おわりに

ラフネスの評価は、路面の物理特性とヒトの生理や心理に関する情報の定量的な把握が必要であるため、非常に複雑である。本研究は、路面の物理的な特性と、ヒトの認知処理に関わる心理反応および精神的ストレスに関わる生理反応との関係から、ラフネスに対するヒトの反応メカニズムおよび許容限界について検討した。以下に、本研究で得られた知見を示す。

- (1) 心理反応に基づくラフネス評価の結果、試験参加者は、IRIの増加に伴いヒトの認知に関わる反応時間が

減少するグループAと増加するグループBに判別できる。特に後者は、IRIの増加に伴い反応時間が有意に増加し、ラフネスが乗員の快適性のみならず安全性にも影響を及ぼすことが示唆された。

- (2) 生理反応に基づくラフネス評価の結果、心拍変動指標であるHFは、両参加者グループとも、IRIの増加に伴い減少する結果となり、ラフネスに対する精神的ストレスを示した。これは、HFが快適性に関わる比較的短時間で生じる精神的ストレスと相関するためである。一方、LF/HFは、IRI増加に対し参加者グループAではストレス傾向を示さず、グループBではストレス傾向を示した。これは、LF/HFが比較的長い時間で生じる精神的な疲労と関係するため、車両振動刺激に対する振動感受性により差が生じたものといえる。
- (3) 反応時間と心拍変動指標を統合し、ラフネスに対する生理心理反応について検討したところ、反応時間とLF/HFが同様の傾向を示し、路面由来の精神疲労と認知に関わる注意資源の間に関連性が示唆された。この結果は、ラフネスの増加が、精神的ストレスの増加に伴う快適性の低下のみならず、疲労の増加に伴う安全性の低下につながることを示している。
- (4) ヒトの生理心理反応に基づき、ラフネスの許容限界について検討したところ、幹線道路における快適性および安全性を考慮した値として、IRI=5.4mm/mが得られた。この結果は、物理・心理・生理指標に基づく既往のラフネス評価結果と整合し、またそれらを裏付けるものである。

以上の通り、路面評価においてヒトの生理心理計測は非常に重要な役割を果たし、既存の評価手法に対しても合理的な解釈を与えるものである。近年、社会基盤の老朽化が急速に進行する中、本研究結果は、質の高い道路交通環境整備に寄与するものと期待できる。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費（若手研究（B）15K20843 および基盤研究（B）26289167）の助成を受けたものである。ここに記して感謝の意を表する。

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評価指標編、丸善、2006。
- 2) Haas, R., and Hudson, W.R. 著 北海道土木技術会舗装研究委員会訳：最新舗装マネジメント、北海道土木技術会舗装研究委員会、2000。
- 3) Sayers, M.W.: On the Calculation of IRI from Longitudinal Road Profile, *Journal of the Transportation Research Record*, No.1501, pp.1-12, 1995.

- 4) ISO: *Mechanical vibration – Road surface profiles – Reporting of measured data*, ISO8608: 1995, 1995.
- 5) Ishida, T., Kawamura, A., and Tomiyama, K.: Quantitative Evaluation of Ride Comfort Using a Driving Simulator, *Proceedings of Transportation Research Board*, Vol. 87, No.08-3090 (CD-ROM), 2008.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 石田 樹, 川村 彰, Alimujiang Yiming, 富山和也: 生体信号による舗装路面の乗り心地評価に関する基礎的研究, 土木学会舗装工学論文集, 第 12 巻, pp.197-204, 2007.
- 9) 郭 慶煥, 磯崎大輔, 姫野賢治: 脳波による舗装路面の快適性評価, 土木学会舗装工学論文集, 第 15 巻, pp.49-56, 2010.
- 10) ISO: *Mechanical vibration and shock – Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration - Part1: General Requirements*, ISO2631-1:1985, 1985.
- 11) ISO: *Mechanical vibration and shock – Evaluation of Human Exposure to Whole-body Vibration - Part1: General Requirements*, ISO2631-1:1997, 1997.
- 12) 日本認知心理学会編: 認知心理学ハンドブック, 有斐閣, 2013.
- 13) Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: Heart Rate Variability: Standards of measurement, physio-logical interpretation, and clinical use, *European Heart Journal*, Vol. 17, No. 3, pp. 354-381, 1996.
- 14) 富山和也, 川村 彰, 石田 樹, 秋田谷勇輝: ドライビングシミュレータおよび生体情報を用いた路面乗り心地評価システムの構築, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.68, No.2, pp.I_135-I_141, 2012.
- 15) 国土交通省道路局: 舗装点検要領, 2016.
- 16) 牧下 寛, 松永勝也: 心理的負荷が運転中の反応時間に与える影響, 人間工学, Vol.41, No.4, pp.228-236, 2005.
- 17) Andersen, G.J., Ni, R., Bian, Z., and Kang, J.: Limits of spatial attention in three-dimensional space and dual-task driving performance, *Accident Analysis and Prevention*, Vol.43, No.1, pp.381-390, 2011.
- 18) Rossi, R., Gastaldi, M., Biondi, F., and Mulatti, C.: Evaluating the Impact of Processing Spoken Words on Driving - Experiments with Driving Simulator, *Transportation Research Record*, No.2321, pp.66-72, 2012.
- 19) 富山和也, 川村 彰, 高橋 清, 石田 樹: 生体情報を利用した路面乗り心地に基づく舗装の健全度モニタリング, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.67, No.2, pp.I_125-I_132, 2011.
- 20) Pashler, H.: Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological Bulletin*, Vol.116, Issue 2, pp.220-244, 1994.
- 21) 富山和也, 川村 彰, Riccardo Rossi, Massimiliano Gastaldi, Claudio Mulatti: 心拍変動解析に基づく精神疲労を考慮した路面平坦性評価, 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol.71, No.3, pp. I_1-I_8, 2015.
- 22) 石田 樹, 川村 彰, Alimujiang Yiming, 富山和也, 中辻 隆: 心拍数変動を用いた路面の乗り心地評価方法, 土木学会舗装工学論文集, 第 13 巻, pp.17-24, 2008.
- 23) 藤田 旬, 富山和也, Nueraihemaitijiang ABLIZ, 川村 彰: 簡易平坦性測定および GIS に基づく市街地道路の路面モニタリング, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.69, No.2, pp.I_90-I_97, 2013.
- 24) 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, pp.49-56, 2004.

PHYSIOPSYCHOLOGICAL RESPONSE OF VEHICLE PASSENGERS TO SURFACE ROUGHNESS AND THE ACCEPTABLE LIMIT

Kazuya TOMIYAMA, Akira KAWAMURA, Riccardo ROSSI,
Massimiliano GASTALDI and Claudio MULATTI

Since surface roughness induces mechanical vibration affecting vehicle passengers, it needs to be evaluated with considering human response to the physical characteristics of road profiles. This study employs the following two physiopsychological measures that are associated with surface roughness in terms of the *International Roughness Index (IRI)* to quantify the safety and comfort of vehicle passengers: one is perceptual reaction time that refers to psychological attentional resources for evaluating cognitive performance of humans, and heart rate variability indices that indicate mental stress corresponding to physiological changes in the autonomic nervous systems. As a result, both the long- and short- term mental stress expressed by the physiological indices increase when psychological reaction time increases significantly proportional to the increase of roughness. This result indicates that surface roughness affects not only the ride comfort but also reduction of the safety by increasing reaction time with increasing mental fatigue. This study also provides the acceptable limit of the *IRI* for highways as 5.4 mm/m, which supports traditional research results regarding roughness evaluation.