

心拍変動に基づく車速を考慮した利用者のストレス要因となる路面波長評価

北見工業大学大学院 学生会員 ○稲木万玲 北見工業大学工学部 正会員 富山和也
 北見工業大学大学院 学生会員 片岡俊徳 北見工業大学工学部 学生会員 伊藤将光
 東日本高速道路株式会社 正会員 佐藤正和

1. はじめに

現在、日本の高速自動車国道（以下、高速道路）では、道路利用者の快適性を重視し、車両の振動乗り心地の観点から、国際ラフネス指数（以下、IRI）による路面管理が行われている。しかし、現行の路面管理基準において利用者のストレス要因となる路面波長 4~8m（以下、ストレス波長）が過小評価されていることが先行研究¹⁾で明らかとなっている。また、高速道路の一部区間で最高速度規制が引き上げられたことから²⁾車速が変化した場合でもストレス波長が車両乗員にとってストレス要因となりえるのか検証が必要である。本研究の目的は、ストレス波長の卓越度合いおよび車速の違いによる潜在的な利用者ストレスへの影響を明らかにすることである。そこで本文では、客観性のある生理情報である心拍変動（以下、HRV）に基づく、人間中心のストレス路面波長評価についてドライビングシミュレータ（以下、DS）による走行試験（以下、DS 試験）を実施し、検討を行った。



図-1 DS 試験状況

2. DS 試験の概要

DS 試験対象区間は、道路利用者からの入電があり、IRI 値が現行の管理基準に達していないストレス波長の卓越度が異なる 3 路面の実路面を対象路面とし、80km/h および 100km/h で自動運転走行とした。DS 試験の状況を図-1 に示す。卓越度基準は、対象箇所（距離 500m 付近）のストレス波長のウェーブレットパワースペクトルにより 3 段階に分け、16 以上の場合を卓越とする c1、8 以上の場合を卓越とする c2、4 以上の場合を卓越とする c3 とした。図-2 に各路面におけるプロファイルの連続ウェーブレット変換の結果を示した。また、本試験において HRV によりストレスのない状態と対象路面走行時のストレスのある状態とを比較するため、快適な路面として道路利用者からの入電がなく、ストレス波長が存在していない実路面を参考路面とした。DS 試験は、参考路面を走行後、対象路面 3 路面をランダムに走行し、車速を変えて繰り返した。なお本試験は、北見工業大学の人を対象とする研究倫理審査委員会承認（承認番号 1039）のもと、16 名（女性 3 名平均年齢 32.1 歳）の協力を得て実施した。

3. HRV によるストレス波長路面評価の概要

本研究では、HRV の指標として、比較的少量のデータから自律神経活動の評価が可能な幾何学的解析手法であるポアンカレプロット（Poincaré Plot 以下、PP）を用いた。PP とは、図-3(a)に示す心電図の R 波同士の間隔である図-3(b)の RRI から心拍周期を求め、n 番目の RRI を横軸にとり、その一拍後の n+1 番目の RRI を縦軸にプロット

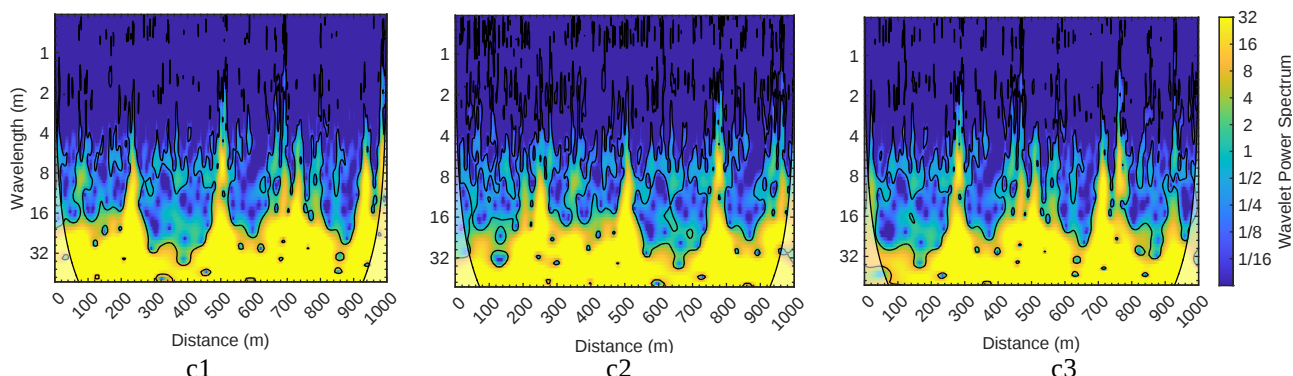


図-2 各対象路面プロファイルの連続ウェーブレット変換の結果

キーワード 路面評価, 乗り心地, 心拍変動, 国際ラフネス指数, 高速道路

連絡先〒090-8507 北海道北見市公園町 165 北見工業大学 工学部 社会環境系 交通工学研究室 TEL0157-26-9496

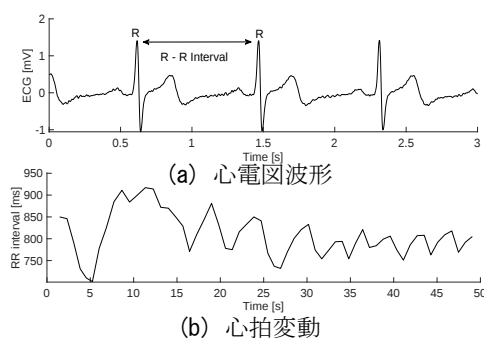


図-3 心電図波形および心拍変動の例

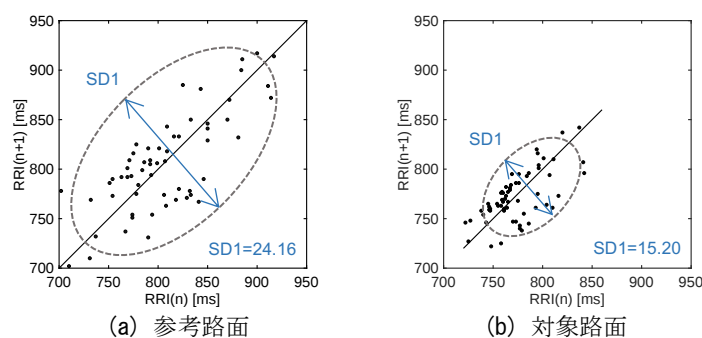


図-4 路面ごとの PP および SD1 の例

する。プロットは、直線 $RRI_{n+1}=RRI_n$ に対して図-4 に示すように楕円形上の分布を示し、長軸に対して垂直方向のばらつきを SD1 という。この SD1 はストレスのある状態において安静状態と比較して低い値を取ることが知られている³⁾。PP の例として図-4 (a) に参考路面を、図-4 (b) に対象路面を走行した際の PP および SD1 を示す。SD1 指標の解釈を図-4 に適応した場合、対象路面走行時の SD1 が参考路面走行時の SD1 と比較して低いことから対象路面は、ストレスを感じる路面であると評価できる。

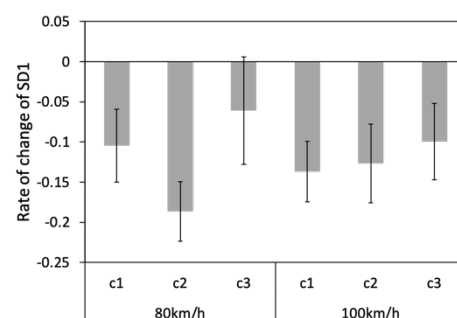


図-5 RSD1 比較結果

4. SD1 変化率による車速を考慮したストレス路面波長評価

本研究では、SD1 の個人差を考慮するため、被験者ごとに参考路面を 80km/h で走行した際の SD1 を基準に正規化し、対象路面での SD1 の変化率 (Rate of change of SD1 以下、RSD1) を算出した。また、データの異常値 ($< -3\sigma$ または $> 3\sigma$) を除去し、RSD1 の平均と標準誤差を求めた。RSD1 が負の値を示した場合、参考路面と比較してストレスを感じている路面であると評価することができる。図-5 に 80km/h および 100km/h で対象路面 c1, c2, c3 を走行した際の RSD1 平均の比較結果を示す。図より、80km/h の c2 の結果を除き、100km/h での RSD1 が 80km/h の RSD1 と比較して、減少していることがわかる。従って、ストレス波長は、100km/h 時においてもストレス要因となる路面損傷の波長であると言える。また、100km/h においては、波長の卓越度が増加すると RSD1 が減少する傾向が示された。c2 において RSD1 が最小となった原因としては、平均的な路面変状がその後の路面変状に起因するストレスの感じ易さに影響を与える¹⁾という知見からも c2 において対象箇所以前にストレス波長を含んだ路面変状がなかったことが影響していると考えられる。

5. おわりに

本研究では、車速の違いを考慮したストレス波長と道路利用者のストレスの関係について、DS 試験により検討を行ったものである。その結果、ストレス波長が存在する路面では、SD1 の値が減少する傾向を示し、断続的にストレス波長路面変状が存在する路面では、100km/h 走行において 80km/h 走行時よりも RSD1 が減少し、ストレス波長が卓越した路面変状は、車速が高速になるに従ってストレスが増加傾向となること確認できた。本研究で得られた知見は、利用者のストレス反応と整合性の取れた路面指標開発につながるものであり、人間中心設計の考え方に基づく道路交通の発展に寄与するものと期待できる。

参考文献

- 1) 稲木万玲, 富山和也, 小濱諒, 江口利幸, 佐藤正和: 生理指標に着目したストレス要因となる路面変状の特定と人間中心評価, 土木学会論文集 E1(舗装工学), Vol.78, No.2, pp.I_135-I_143, 2023.
- 2) 静岡県警察: 新東名高速道路における最高速度規制 120 キロの本格運用開始
<https://www.pref.shizuoka.jp/police/anzen/kiseka/shisaku2/sokudo110.html> (最終アクセス 2023 年 3 月)
- 3) Chen, Y., Zhang, L., Zhang, B., Zhan, C.A.: Short-term HRV in young adults for momentary assessment of acute mental stress, Biomedical Signal Processing and Control, Vol.57, No.101746, 2020.