連続算出した国際ラフネス指数と心拍変動による路面局部変状の定量的評価

北見工業大学工学部　学生員　○稲木万玲
北見工業大学大学院　学生員　髙橋優太
北見工業大学工学部　正会員　富山和也
東日本高速道路株式会社　非会員　小濱　諒
東日本高速道路株式会社　正会員　江口利幸
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．ここで，IRI は固定区間長 200 m もしくは局部変状を対象に 10 m[1)]で算出される．一方，車両振動は時事刻々と変化するため，利用者意識と路面の局部変状を対応づけるためには，連続的な評価が必要であると考えられる．そこで本研究では，連続算出した IRI と利用者の生理情報である心拍変動に着目し，利用者の潜在的な精神的ストレスに基づく路面の局部変状の定量的評価について，北見工業大学所有の路面評価型ドライビングシュミレータ（以下，DS）による検討を行った．

2. 心拍変動による路面評価の概要

(1) DS を用いた走行試験

DS を用いた体感走行試験(以下，DS 試験)は，供用中の高速道路で得られた実データを再現し実施した．特に，本試験では，映像出力装置として**図-1** に示すヘッドマウントディスプレイ(以下，HMD)を使用し，実道調査時に記録した高速道路走行中の実映像を，同時に計測した路面プロファイルと同期し DS 上で再現した．HMD を用いる利点は，頭の回転や傾きを感知し，DS の振動が HMD 内の映像にも反映されることである．また，従来の液晶ディスプレイにアニメーションを再生する試験方法と比べ，よりリアルな乗車感覚を得ることが可能である．走行回数は現地調査の結果に鑑み 1 区間 2km の 5 区間を 3 試行，計 15 走行とした．また走行速度は，路面調査時の速度に合わせ，1 区間平均 68~78 km/h である．なお，DS 試験には，健常な 20 名(女性５名、平均年齢 22.6）の協力を得た．

図-1　DS および HMD を用いた体感走行試験状況

(2) 心拍変動の解析方法

心拍変動は，TAOS 研究所製の脈波収集装置 BACS Advance を用いて，指尖脈波を下に計測を行なった．本研究では，心拍変動指標として，既往研究 [2)]を参考に，心拍一拍の間隔を時系列で表した心拍変動（R-R Interval）を周波数解析し算出した代表的な指標である，0.04~0. 15Hz の低周波成分（Low Frequency，以下，LF）および 0.15~0.40Hz の高周波成分(High Frequency，以下，HF)のうち，HF を用いた．ここで，HF を用いた理由は以下の通りである．

(a) LF は，交感神経活動あるいは交感神経活動と副交感神経活動の両方の影響を受けて変化するとされており，交感神経もしくは副交感神経のどちらかが優位であっても発現するため，LF と HF の比をとった LF/HF が交感神経の活動を示す指標として知られている．しかし，LF 成分として 0.1Hz 付近の周波数成分を算出するには，最低 30 秒程度のデータが必要となり，急峻な変化や短い時間での反応，リアルタイムでの分析には適せず，局部変状によるストレス状態の観察を行う本研究の解析方法としては適用が困難である．

(b) HF は，リラックスした状況下で値が増加することが知られている．すなわち，HF 低下時に潜在的なストレスが増加すると考えられる．既往研究 [2)]においても，路面の平坦性に起因するストレスは，短期的には HF に反映されることが示されており，車両振動の原因となる路面変状の影響を受け，HF は低下するものと考えられる．したがって，本研究では潜在的なストレス指標として HF を用いることにより，利用者意識を考慮した路面の局部変状評価について検討を行うこととした．

キーワード　路面評価，局部変状，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

© Japan Society of Civil Engineers

3. 連続 IRI による局部変状の定量的評価

(1) 連続 IRI の算出方法

IRI は，固定区間 IRI として，ある固定区間を評価延長とし離散的に算出する方法（以下，IRI_{Fix}）と，連続 IRI として，全てのサンプリング点ごとに評価延長に対する値を連続的にスライドさせながら算出する方法（以下，IRI_{Cont}）がある．**図-2** に評価延長を 200 m とした時の，IRI（以下，$IRI_{Fix}(200)$および $IRI_{Cont}(200)$と表す）の算出結果を示す．高速道路では，舗装の管理目標値として $IRI_{Fix}(200)$を用いている．本研究では，人の乗車感覚が連続的なものであると考え，路面変状と利用者意識の関係を把握するため，IRI_{Cont} による路面評価を検討する．

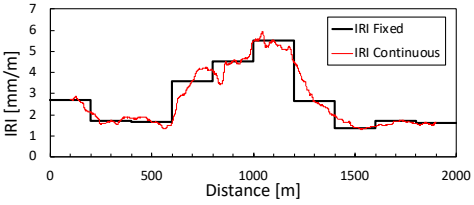

図-2 IRI_{Fix} と IRI_{Cont}

(2) IRI_{Cont} と心拍変動の関係

図-3 に $IRI_{Cont}(200)$と HF の関係を示す．**図-3** より，IRI が増加するにつれて HF が自然対数状に減少することが確認できる．これは，IRI_{Cont} の増加に伴い，潜在的なストレスが増加していることを表し，路面変状に起因するストレスは，HF に反映されるものといえる．次に，路面変状の進行が心拍変動に及ぼす影響を明らかにするため，IRI_{Cont} の変化量と HF の変化量の関係性について，以下の基準を設け検討した．

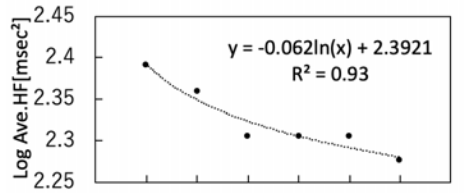

図-3 IRI_{Cont} と HF の関係

(a) HF の変化量が負，すなわちストレスが増加する時，対象 2 点間内の IRI_{Cont} の変化量の最大値を抽出する．

(b) HF の変化量が正，すなわちストレスが減少する時，対象 2 点間内の IRI_{Cont} の変化量の最小値を抽出する．

ここで，対象 2 点間とは，HF の変化量を求める際の，勾配の始終点間を指す．HF の変化量の対象 2 点間は 0.5 秒から 2.5 秒まで 0.5 秒ごとに，IRI の変化量は，0.1 mm/m/m から 1.0 mm/m/m まで 0.1 mm/m/m ごとに増加させ検討した．なお，HF については，リラックス状態での潜在意識の遷移とストレス状態での潜在意識の遷移を把握するために，変化量の変化，即ち HF の加速度に着目した．**図-4** に IRI_{Cont} の変化量ごとの HF 加速度との相関係数を示す．図より，IRI の変化量が 0.4 mm/m/m の時に，HF 加速度と強い負の相関関係が得られた．その詳細を**図-5** に示す．以上より，IRI_{Cont} の変化量が 0.4 mm/m/m 以上となる場合に心拍変動に影響を及ぼし，乗員が路面変状の増加を認識することが示唆された．

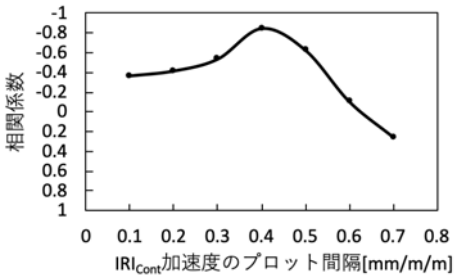

図-4 プロット間隔を変化させた際の IRI_{Cont} の変化量と HF 加速度の相関係数

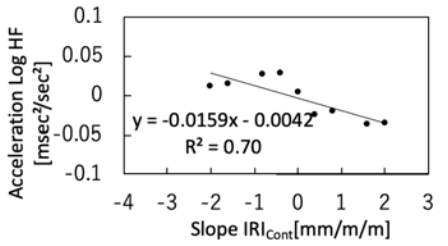

図-5 IRI_{Cont} の変化量と HF 加速度の関係（IRI_{Cont} のプロット間隔：0.4 mm/m/m)

4. まとめ

本研究では，路面変状と利用者意識の関係について，連続 IRI（IRI_{Cont}）と乗員の心拍変動に着目し検討を行ったものである．その結果，IRI_{Cont} 増加時に HF が減少することを示し，IRI_{Cont} の変化量と HF 加速度の関係から，乗員の路面変状に対する最小認知域を定量的に把握することができた．なお，本研究結果は一部のサンプルデータを基にした検討であるため，今後データの蓄積を図り精度向上に向けた検討を進める予定である．本研究で得られた知見は，利用者の潜在的なストレスの遷移に基づく，路面の局部変状評価と予防的措置に貢献するものと期待できる．

参考文献

1) 江口利幸，田中裕士，川村 彰，富山和也：国際ラフネス指数を用いた局部変状評価手法，土木学会論文集 E1（舗装工学），Vol.71，No.3，pp.I_17-I_23，2015 年 12 月．

2) 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.

© Japan Society of Civil Engineers