生体脈波を用いた車両走行による橋梁通過時の乗り心地に関する考察

茨城大学工学部　正会員　○原田 隆郎
東日本旅客鉄道(株)　　亀山 大輝

1．はじめに

近年，橋梁の老朽化により劣悪した路面の影響で，車両走行による橋梁通過時の乗り心地に関する問題が生じている．特に，橋梁の収縮や変形を吸収する役割を果たす伸縮装置は，橋梁の中でも不具合が生じやすい箇所となっており，それに伴う騒音や振動が橋梁通過時の車両の乗り心地に多大な影響を及ぼしている．そこで本研究では，乗り心地の観点から車両に乗車している人間の生体脈波に着目し，橋梁通過時の発生音や振動と人間の生体脈波との関係性を把握することを目的とした．ここで，生体脈波は外部環境の変化による人体の反応を観察することに適していることから[1]，近年，医療や福祉工学分野で利用されており，著者らは既往の研究[2]において，走行中の車両に乗車する人間の生体脈波から乗り心地を前提とした路線の区別化の検討を行っている．本研究では，生体脈波の不安定性を不快感と定義し，車両の乗り心地と対応づけて評価を行う．そして，橋梁通過時の車両振動や車内音と人間の生体脈波の関連から，車両走行による橋梁通過時の乗り心地を考察した．

2．車両走行による橋梁通過時の振動加速度，車内音，生体脈波の計測実験

(1) 実験概要

本研究では，**表-1** に示す茨城県内の 4 つの橋梁を対象に車両走行実験を行った．実験では，各橋梁を車両で通過し，その際の車両の振動加速度，車内音，運転者および同乗者の生体脈波を計測した．**図-1** に計測装置とその設置位置を示す．橋梁通過時の車内振動加速度は東京測器研究所製の加速度計 ARF-20A，車内音は先端にマイクロホンを装着した RION 社製 4ch データレコーダ，運転者および同乗者の生体脈波は TAOS 研究所製 Vital Meter を用いて計測を行った．計測は 1 橋梁に対し 3 回実施した．走行実験に使用した車両は 7 人乗りのワンボックス車であり，一定速度（40～60km/h）で走行した．加速度計は助手席の足元に設置し，車内音の計測に用いたマイクは車両左側中央部のアクセスグリップに設置した．また，生体脈波の計測においては，運転手および同乗者ともに耳朶脈波を計測した．なお，運転者は運転席で運転中に，同乗者は運転者の後部座席でアイマスクをした状態で計測を行った．

表-1　車両走行実験における対象橋梁

橋梁	橋長 (m)	伸縮装置		路面および伸縮装置の状況
		材質	数	
A 橋	33.9	鋼	3	1cm 程度の段差が見られる．大型車交通量が多い．
B 橋	36.6	鋼	2	橋面舗装に凹凸が見られる．交通量が多い．
C 橋	156.0	ゴム	4	曲線橋であり，伸縮装置は新しい．
D 橋	376.6	ゴム	3	ゴムの破断箇所がある．橋面は平坦で走行しやすい．

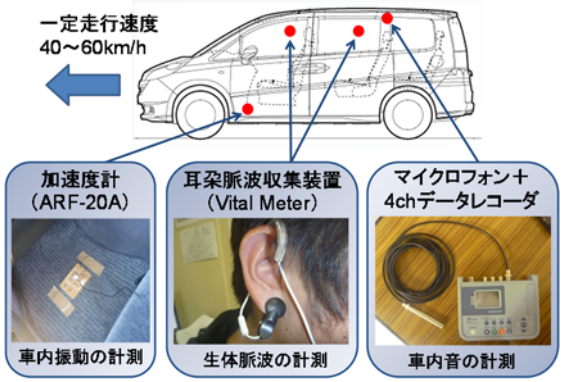

図-1　走行実験における計測装置とその設置位置

(2) 計測データの分析方法

車内の振動加速度および車内音については，**図-2** に示すように橋梁通過時の計測波形からピークピーク値（以下 p-p 値）の総和 A_S と実効値 P を算出した．p-p 値の総和 A_S は対象橋梁における n 個の伸縮装置の総和であり，振動や音の最大値の影響を反映させている．また，実効値 P は路面の状態を含めた橋梁通過時全体（データ数 m）の振動や音の影響を反映させている．なお，A_S と P は 3 回の計測データの平均値として算出した．

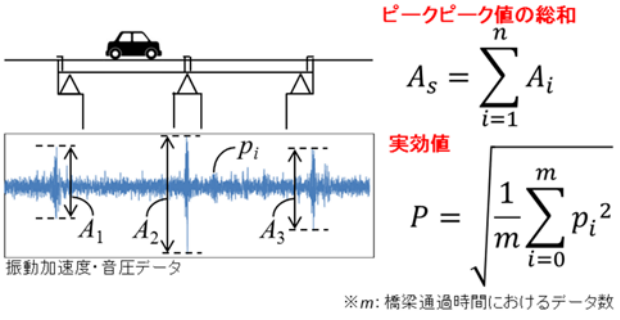

図-2　p-p 値の総和 A_S および実効値 P の算出方法

キーワード：乗り心地，橋梁段差，生体脈波，リアプノフ指数，振動加速度，車内音
連絡先：〒316-8511　日立市中成沢町 4-12-1　TEL：0294-38-5172　FAX：0294-38-5268

一方，計測された生体脈波波形はカオス性を有することから，図-3 に示すように，その特徴量の抽出方法としてカオス解析[3]を利用した．そして，生体脈波の安定または不安定を表す指標としてリアプノフ指数λを算出した．既往の研究[2]から，生体脈波のリアプノフ指数λが大きい場合は生体脈波が不安定であり，被験者は乗り心地に不快を感じ，リアプノフ指数λが低い場合は生体脈波が安定しており，被験者は乗り心地に不快を感じないと定義される．ただし，本研究では被験者の個人差をなくすために，橋梁通過直前のリアプノフ指数 λ_0 に対する橋梁通過時のリアプノフ指数λの割合を求め，これをリアプノフ指数の変化率（$=\lambda/\lambda_0$）と定義して乗り心地評価に利用した．なお，橋梁通過直前および通過時のリアプノフ指数はいずれも 3 回の計測データの平均値を利用した．

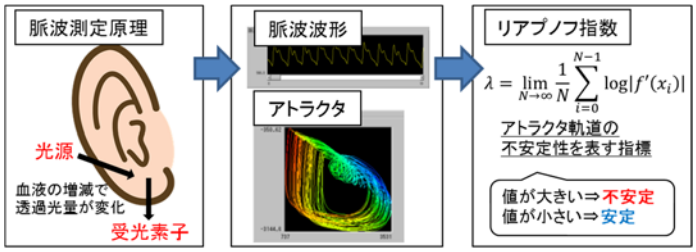

図-3　耳朶脈波測定原理と特徴量の抽出方法

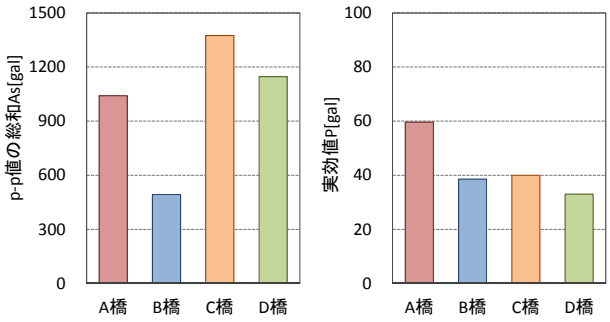

図-4　各橋梁通過時の振動加速度の A_S と P

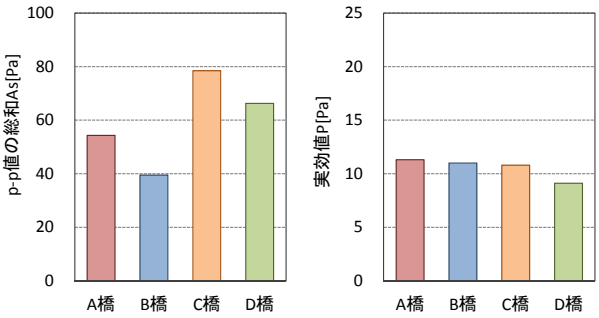

図-5　各橋梁通過時の車内音の A_S と P

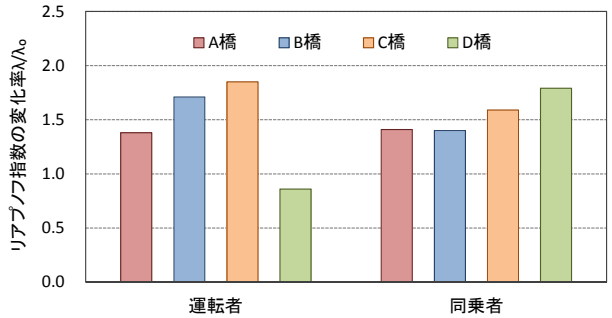

図-6　各橋梁通過時のリアプノフ指数の変化率

3．実験結果と橋梁通過時の乗り心地に関する考察

(1) 橋梁通過時の振動加速度と車内音の分析結果

図-4 に各橋梁通過時の振動加速度の p-p 値の総和 A_S および実効値 P を，同様に図-5 に車内音の A_S および P を示す．振動加速度と車内音の両方において，p-p 値の総和 A_S は B 橋の値が他より小さいが，実効値 P は B 橋の値はそれほど小さくないことがわかる．B 橋は伸縮装置そのものの段差は大きくないが，橋面状態が悪く凸凹した路面となっており，それが実効値 P に反映されたと考えられる．

(2) 橋梁通過時のリアプノフ指数変化率と乗り心地の考察

図-6 に各橋梁通過時の運転者と同乗者のリアプノフ指数の変化率を示す．運転者のリアプノフ指数の変化率は，B 橋を除く各橋梁の振動加速度および車内音の p-p 値の総和 A_S とほぼ同様の傾向を示し，運転者の乗り心地は振動や音の最大値の影響（p-p 値の総和 A_S）を受けることが確認できる．ただし，B 橋の振動加速度と車内音の実効値 P の大きさは他の橋梁と大きな差は無いことから，運転者の乗り心地は p-p 値の総和 A_S だけでなく，実効値 P の大きさも考慮して評価する必要があると推察できる．次に，同乗者のリアプノフ指数の変化率は，A～C 橋については運転者のリアプノフ指数の変化率と同様となったが，D 橋が若干大きな値を示した．D 橋は対向車からの振動や騒音の影響を受けやすい橋梁であり，アイマスクをしている同乗者が運転者よりも対向車からの影響を受けやすいと考えられることから，D 橋における同乗者のリアプノフ指数変化率が高くなったと推察できる．

4．おわりに

本研究では，橋梁通過時の車内の振動および音と生体脈波の関係性を検討し，橋梁通過時の乗り心地を評価した．その結果，車両乗り心地として定義した運転者と同乗者のリアプノフ指数の変化率は，伸縮装置通過時の p-p 値の総和と橋梁通過時全体の傾向を示す実効値とを複合的に評価している可能性があることがわかった．なお，運転者と同乗者の乗り心地の違いは外部要因にも影響することから，今後さらに多くの被験者の実験を行う必要がある．

参考文献：1)清水俊行，苗 鉄軍，下山 修：指尖脈波のカオス分析を用いたドライバの心身状態の定量化，ヒューマンインタフェース学会研究報告集，Vol.6，No.1，pp.97-99，2004．2)原田隆郎，横山功一：生体情報を用いた歩道橋横断時の不快感評価の試み，第 28 回日本道路会議，No.20008，CD-ROM，2009．3)合原一幸編：カオス時系列解析の基礎と応用，産業図書，2000．