

生体脈波の変化に着目した歩道橋横断時の不快感評価に関する検討

茨城大学工学部 正会員 ○原田 隆郎
東京地下鉄株式会社 亀井 啓太

1. はじめに

横断歩道橋の振動使用性を考える場合、歩行者が歩道橋横断時の揺れによって感じる不快感が問題となる。これは、歩道橋の固有振動数と歩行者の歩調が接近した場合に共振現象が発生することで、歩道橋が大きな揺れを起こし歩行者に不快感を与えるというものである¹⁾。一般に、歩行者の歩調は約 2Hz と言われており、歩道橋の固有振動数が 2Hz 付近の場合は歩道橋が大きく揺れる。そこで、立体横断施設技術基準・同解説²⁾では、歩道橋の主桁の固有振動数が 2Hz 前後にならないように設計することが必要であると規定されている。これに対し著者らは、医療や福祉工学の分野で利用され、外部環境の急激な変化による人体の反応を観察するのに適していると言われていた生体脈波³⁾を用いて、歩行者の生体脈波と歩道橋の振動変位の関係を実験的に把握し、歩道橋横断者の感じる揺れに対する不快感評価を試みた⁴⁾。本研究では、被験者の歩調と桁の固有振動数が共振する場合を詳細に検討するために、被験者の歩行中の加速度も同時計測し、生体脈波との関係性を検討した。

2. 生体脈波の計測と不快感評価の考え方

本研究では、歩道橋横断者の生体情報として脈波を利用する。脈波計測では、指先や耳朶などの生体組織へ近赤外領域の光を照射したときの反射あるいは透過光を検出し、ヘモグロビンによる近赤外光の吸光度を利用して血液の脈動を電気的に計測する(図-1)。計測された波形はカオス性を有することから、その特徴量の抽出方法としては一般にカオス解析が用いられる⁵⁾。カオス解析では、まず Takens の埋め込み定理を用いて波形から時間遅れ座標にアトラクタを構成する。生体脈波が不安定な場合、アトラクタの軌道は複雑に乱れる。そして、このアトラクタの軌道の複雑さを表す指標をリアプノフ指数と定義している。リアプノフ指数 $\lambda(f)$ は式(1)で計算され、力学系 $x_{i+1}=f(x_i)$ について、近接した 2 点から出発した 2 つの軌道がどのくらいの時に離れていくかを測る尺度として定義される。

$$\lambda(f) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \log |f'(x_i)| \quad (1)$$

ここで、 $f'(x_i)$ は写像拡大率、 N はサンプリングデータ数である。よって、アトラクタがまったく同じ軌道を描く場合にはリアプノフ指数は 0 となり、軌道が複雑にずれるほどリアプノフ指数の値は大きくなる。計測された脈波波形のリアプノフ指数が大きいということは、人体が何らかの外界の変化に対して反応している状態であると考えられ、本研究では、このリアプノフ指数を不快感の指標として用いることとした。つまり、不快を感じていない場合には生体情報が安定しているためリアプノフ指数は低い値を示し、逆に不快を感じている場合には生体情報が不安定となりリアプノフ指数は安定時に比べ大きな値を示すことになる。

3. 歩道橋横断時の不快感評価実験とその結果

(1) 実験概要

本研究では、生体脈波を利用して歩道橋横断時の不快感を評価するため、Y 歩道橋(埼玉県三郷市)を被験者に横断させ、被験者の生体脈波と歩調、そして歩道橋の振動を同時計測した。この歩道橋は図-2 に示すように支間長

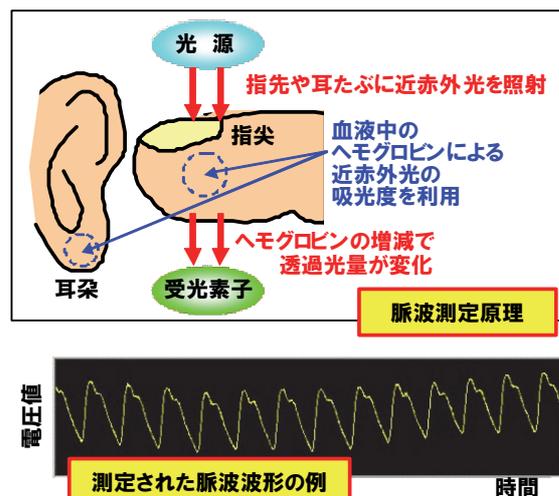


図-1 脈波計測原理と脈波波形の一例

キーワード：横断歩道橋、振動使用性、不快感評価、生体脈波、リアプノフ指数

連絡先：〒316-8511 日立市中成沢町 4-12-1 TEL：0294-38-5172 FAX：0294-38-5268

65.0m, 幅員 3.0m であり, 事前の自由減衰振動実験より桁の固有振動数は 1.85Hz であることが確認されている. 被験者は 20 歳代の男性であり, 図-2 に示すように被験者が歩道橋の(A)から(B)までを横断するときの耳朶脈波を株式会社 CCI 製「BACS ディテクター」を用いて計測した. そして, 計測された生体脈波からリアプノフ指数を算出し不快感の指標とした. 一方, 被験者が歩道橋を横断するときの被験者の歩調は, 被験者の胸前面に取り付けた加速度計の鉛直方向成分から推定した. また歩道橋の振動加速度については, 図-2 に示すスパン中央の丸印の箇所に設置した加速度計の鉛直方向成分を利用した. そして, 各計測データを 5 秒間隔で分割 (サンプリングはどちらも 200Hz) し, 生体脈波はリアプノフ指数に変換し, 被験者と歩道橋の振動加速度は高速フーリエ変換によって卓越振動数を求めた.

(2) 実験結果と考察

図-3 に被験者の歩調を 1.70Hz, 1.85Hz, 2.00Hz の 3 パターンに変化させたときの実験結果を示す. 各図の左縦軸は被験者が歩行する前の脈波から求められたリアプノフ指数に対する歩行後のリアプノフ指数の変化の割合であり, 右縦軸は被験者の胸前面で計測された鉛直方向加速度の卓越振動数を, 予定された歩調 (1.70Hz, 1.85Hz, 2.00Hz) で除した卓越振動数比である.

各図ともに被験者の卓越振動数比はほぼ 1.0 で, 予定された歩調どおりの歩行ができたと考えられる. これに対して, 歩調 1.70Hz および 2.00Hz のリアプノフ指数の変化率を見ると, 歩行前と歩行後でリアプノフ指数の変化は見られないが, 被験者が歩調 1.85Hz で歩行した場合, つまり歩道橋の固有振動数と一致するケースでは, 歩行前と歩行後でリアプノフ指数の変化率は増加した. この結果より, 被験者が歩道橋の固有振動数と歩調を合わせて歩行することで, 被験者の脈波は大きく変化することがわかり, これが不快感に繋がることを確認できた.

4. おわりに

本研究では, 生体脈波から求まるリアプノフ指数の変化率で歩道橋横断時の不快感を評価した. その結果, 被験者の歩調と桁の固有振動数が近い場合は, 歩行時の不快感が生体脈波に影響することを把握した.

謝辞: 本研究の実施に際して国土交通省北首都国道事務所にご協力をいただきました. ここに深くお礼申し上げます.

参考文献: 1) 田中信治, 加藤雅史: 設計時における歩道橋の振動使用性照査法, 土木学会論文集, No471/I-24, pp.77-84, 1994. 2) 日本道路協会: 立体横断施設技術基準・同解説, 1983. 3) 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. 4) 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. 5) 合原一幸編: カオス時系列解析の基礎と応用, 産業図書, 2000.

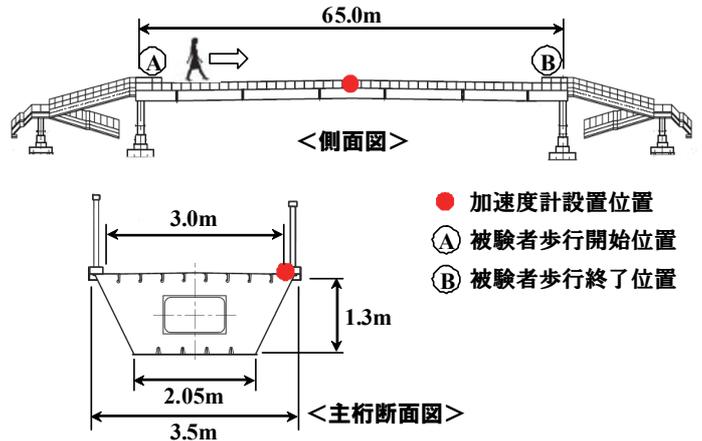


図-2 対象歩道橋と被験者歩行区間及び加速度計設置箇所

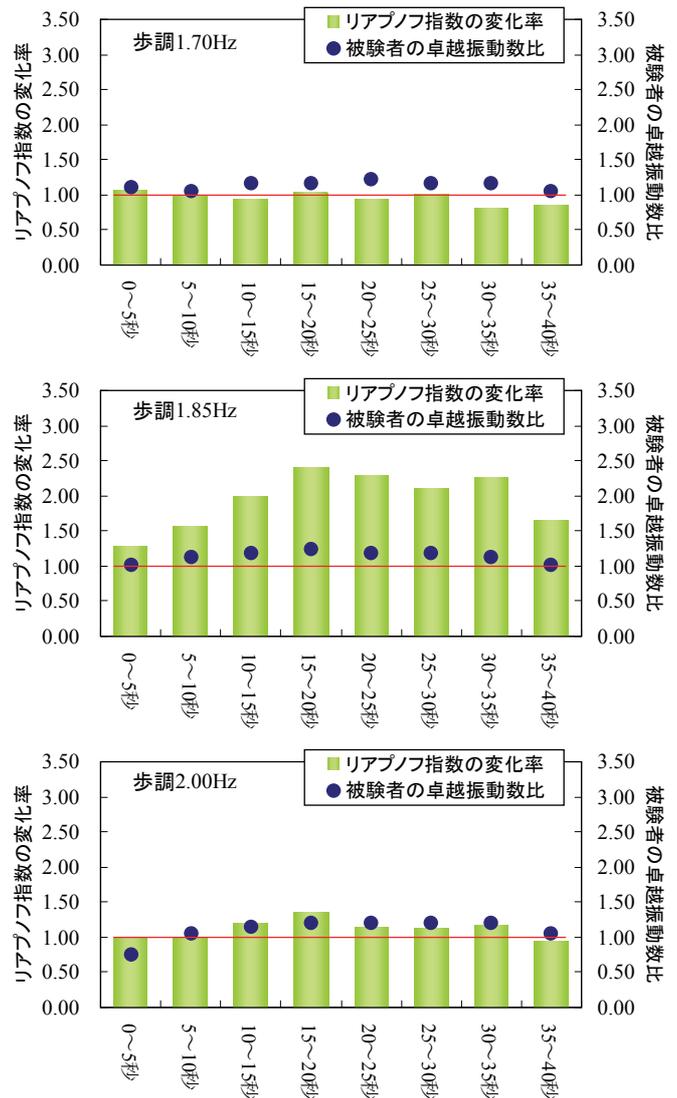


図-3 歩調の違いによる被験者のリアプノフ指数の変化