

プローブ自転車による自転車歩行者道のバリア調査法*

Investigation of barrier on bicycle-pedestrian track with probe bicycle*

斎藤健治**・清田 勝**

By Kenji SAITOU**・Masaru KIYOTA**

1. はじめに

現在の日本における歩行・自転車走行環境は、自動車利用環境に比べ、悪舗装、狭い幅員、車優先のすりつけ勾配や排水のための横断勾配など、貧弱、劣悪といわざるを得ない。高齢者の多くが移動手段として徒歩（車いすを含む）、あるいは自転車を選択することから¹⁾、歩道や自転車歩行者道の整備は、車道整備以上に重要課題の一つといつてよい。

自転車歩行者道を継続的に整備していくためには、現状を調査すること、その結果や整備結果を管理するために、データベース化することが必要である。また、GIS（地理情報システム）を併用してバリアフリーマップやアクセシビリティマップなどの形で情報を公開することも重要になるだろう。本研究では、自転車歩行者道の状況（バリア）を調査するプローブ自転車を開発し²⁾、実際の歩道や自転車歩行者道の調査に適用することが目的である。

2. プローブ自転車

市販の三輪自転車にセンサを装着してプローブ自転車とした（図 - 1）。

装着したセンサは、ハンドルのふれ角を計測する 1 回転式のポテンショメータ（Copal 社製, JC22E）、段差や路面凹凸を通過したときに生じる振動加速度を計測する 2 軸の加速度センサ（Analog Devices 社製, ADXL210）、走行スピードを計測する磁気センサ

（CATEYE 社製, CC-VL100）、歩道の縦断勾配と横断勾配を計測する 2 軸の加速度センサ（Analog Devices 社製, ADXL202）および 2 個のジャイロセンサ（村田製作所社製, ENC-03JA）であった。



図 - 1 プローブ自転車

ポテンショメータは、ハンドルステム下のフレームに装着し、ハンドルの回転にともなうステムの回転を検出した（図 - 2）。段差通過時の振動加速度を計測する加速度センサはポテンショメータと同じ位置に 2 軸の感度方向を鉛直方向と前後方向に合わせて装着した（図 - 2）。

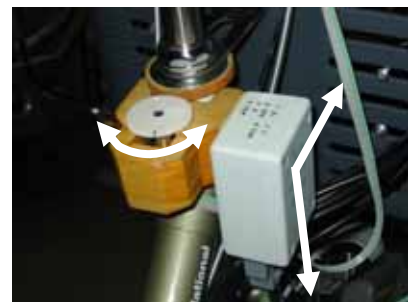


図 - 2 ハンドルふれ計測用のポテンショメータと振動加速度計測用の加速度センサのボックス

縦断と横断両方向の勾配を計測する加速度センサは、後部荷台に装着した。センサの 2 軸の感度方向は前後左右で、荷台が水平の時に 0G になるように装着し傾斜センサとして用いた。ジャイロセンサは後部荷台の動的な傾斜変化を検出するために、ロール

* キーワード：プローブ自転車，自転車歩行者道，バリア調査

** 正会員 佐賀大学理工学部都市工学科
（〒840-8502 佐賀市本庄町 1, TEL：0952-28-8573,
FAX: 0952-28-8190, E-mail: saiken@cc.saga-u.ac.jp）

とピッチの角速度を計測できるように装着した。

計測した信号は、長さ 15 秒、精度 12 ビット、周波数 500Hz でサンプルし、運転手の背中に背負ったノートブック型パーソナルコンピュータ(東芝社製、Libretto L3)に取り込んだ。

3. 段差計測

(1) 方法

舗装された実験走行路上に木製の板を重ねた段差を設置し、その上をプローブ自転車で通過した。段差の高さは 10, 20, 30, 40 および 50mm の 5 種類で、同一段差において 5 回の試技を行った。自転車の走行スピードは、5 回の試技において 8~16km/h の範囲で 5 段階のスピードとなるよう主観で走り分けてもらった。タイヤ空気圧は 3.0kg/cm²とした。

段差通過時にハンドルステム下で計測した衝撃加速度を用いて、段差高を推定するために、次のような線型モデル(重回帰モデル)をたてた。

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + b \quad (1)$$

ここで y は(合成の)振動加速度(G)、 x_1 は走行スピード(km/h)、 x_2 は段差高(mm)、 a_1 、 a_2 、 b は定数である。

(2) 結果

図 - 3 に 2 軸の加速度センサにより計測した、上下方向と前後方向の加速度波形の一例を示す。これは、高さ 20mm の段差を 14~15km/h のスピードで通過(上り下り)したときの加速度波形である。最初の正のピークが、プローブ自転車前輪の登段時、2 つ目の負のピークが降段時である。

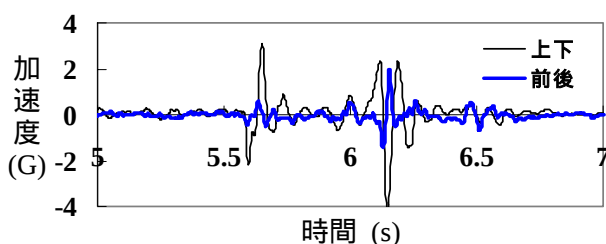


図 - 3 段差通過時の加速度波形例

段差通過時に生じる振動加速度は、この 2 軸の成

分がほとんどであり、3 軸目の左右方向の加速度は必要ないと判断された。

上記 2 軸の加速度を合成した合成加速度波形のピーク値を重回帰モデル式(1)の y とした。さらに、段差通過時の走行スピードを重回帰モデルの x_1 とし、全 25 試技の計測結果から最終的に、

$$x_2 = 8.547y - 0.479x_1 - 2.068 \quad (2)$$

というモデルが決定された。(2)式を用いることにより、走行中に計測される衝撃加速度 y と走行スピード x_1 から、段差高 x_2 を推定することができた(図 - 4)。

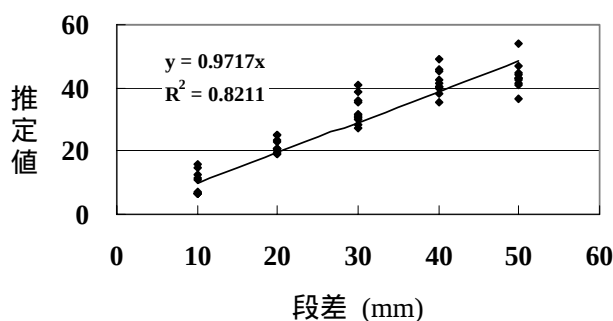


図 - 4 重回帰モデルによる推定結果

4. 幅員計測

(1) 方法

実験走行路上に幅員を示す白線を引き、前輪がその白線に触れるようにスラローム走行を行った。幅員は 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1, 1.5 および 2 m であった。走行路の幅員を示す線の外側に 5m 間隔でパイロンを設置し、走行の目安とした。

走行軌跡は、時間 t の関数としてのハンドルの振れ角 $\theta(t)$ と走行スピード $S(t)$ から、任意の時刻 t_α における自転車の位置座標(進行方向座標、ふれ方向座標)が、

$$\left(\int_0^{t_\alpha} S(t) \cos \theta(t) dt, \int_0^{t_\alpha} S(t) \sin \theta(t) dt \right) \quad (3)$$

により求められる³⁾。

(2) 結果

図 - 5 は幅員 2m の走行路をスラローム走行したときの、ハンドルふれ角と走行スピードから(3)式を

用いて求めた走行軌跡例である。

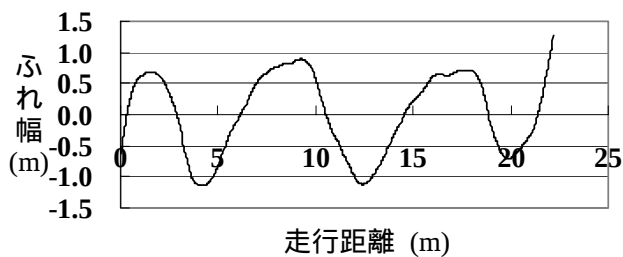


図 - 5 幅員 2.0 m でのスラローム走行結果

幅員が狭いケースでは最大約 45%の大きな誤差が見られたが、1.5m や 2.0m では 10%程度と小さかった。

5. 勾配計測

(1) 方法

縦断勾配 6%程度の既設スロープの実走行を行った。そして、加速度センサの出力(ロール, ピッチ)を勾配 $grad$ (%)に変換した。

ただし、加速度センサの出力には、重力加速度以外に、直線加速度、回転運動にともなう遠心加速度、振動による加速度などが含まれるため、これらを除くことができない。そこで本研究では、カルマンフィルタと平滑化アルゴリズムにより、振動的な波形から勾配の影響によるトレンドの抽出を行った。

(2) 結果

図 - 6 にスロープを登坂したときの加速度波形と平滑化波形を示す。

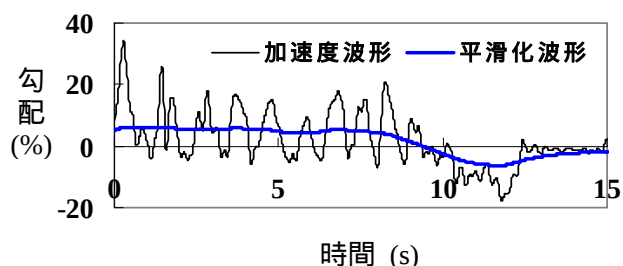


図 - 6 スロープを登坂したときの加速度波形と平滑化波形
約 6%の勾配は、平滑化によりほぼ推定できたが、スロープ途中の踊り場の 1.6% (図中 5~6 秒) はその

変化に追従できない結果となった。また、スロープを登り切ったところ(図中 10 秒以降)では、正から負への反対方向への振動により偽(下り)の勾配が推定される結果となった。

6. 調査例

以上の手法を用いて、プローブ自転車により歩道、自転車歩行者道の調査を行った。プローブ自転車に GPS (EMPEX 社製、ポケナビ map21ex) を装着し、調査ルート of 緯度経度データを一旦 GPS のメモリ媒体に記録した。その後、オフラインで各センサとの同期をとった。各センサの出力は長さ 60 秒、精度 12 ビット、周波数 500Hz でサンプリングし、ノートブック型コンピュータに取り込んだ。

図 - 7 は段差の推定結果を GIS 上に重ね合わせた例を示している。図に示す調査範囲は、佐賀大学周辺道路の歩道あるいは自転車歩行者道である。段差、幅員ともに高さや幅毎に色分けし、状態を可視化した。



図 - 7 プローブ自転車により計測した加速度から推定した段差の分布

7. 考察

自転車歩行者道の整備状況に関する情報を、走行しながら収集するプローブ自転車を開発した。プローブ自転車には、加速度センサ、ポテンショメータ、ジャイロセンサなど装着し、段差、幅員、勾配を計測、推定するシステムを構築した。

段差の高さ推定では、段差の境界形状が一定という条件下で実用に耐えうる推定結果が得られた。段

差形状の違いを考慮するためには、振動加速度波形の瞬時周波数情報などを抽出することが必要になるだろう。実際には、ある高さ以上か未満かという閾値を設定し、歩行、車いす走行、自転車走行に対するバリアとして表現する方法もあるため、高い精度は必要としない。今後、必要最低限の妥協点を検討することも必要である。

一方、加速度センサの出力から段差の推定と同様に、舗装の優劣、インターロッキングの目地間隔などを推定することができる⁴⁾。路面の情報は、段差も含めて、走行の快適性として総合的に評価することも一つの方法といえる。また、振動に現れない、雨天時における滑りやすさについても、計測、推定する手法の確立が必要になるだろう。

幅員の推定では、幅員が小さいほど誤差の相対値が大きくなる傾向が認められたが、絶対値では幅員の大きさに関係なく、最大 0.2～0.4m であった。今後、この精度向上は必須であるが、計測手法の見直しも視野に入れておく必要がある。本研究では、スラローム走行による間接的な幅員計測であり、この手法には、ヒューマンエラーの介在が避けられない。つまり、計測者の走行技術等の影響が避けられない。また、歩道や自転車歩行者道の混雑具合によっては、計測できないことも起こり得る。したがって、今後、カメラを用いた画像分析手法などを検討したい。

勾配の推定では、種々の加速度の影響を受ける加速度センサの出力から、平滑化によりそのトレンドを計算することにより勾配を推定できることがわかった。しかし、例えば、車用のすりつけ勾配が設けられている波打ち状の歩道では、その勾配の変化が激しいため、平滑化による推定ではその変化に追従できない可能性もある。また、勾配変化地点でおこる振動的反応により、正負逆転した勾配が推定されることもある。これらを解決するために、さらに何らかの電氣的なフィルタリングや信号処理の工夫が必要になるだろう。あるいは、ジャイロセンサの出力を加速度センサの出力とフュージョンすることで、実際の推定精度を向上できる可能性もある。

現在、センサの出力は A/D コンバータを介してコンピュータに直接記録しているが、記録媒体の容量の都合上、長時間、大容量データの記録は困難であ

る。チャンネル数、サンプリング周波数を抑えることも解決方法の一つであるが、大容量のデータレコーダの利用、あるいは、携帯電話等の IT 機器を用いて、直接サーバーへデータを伝送する方法も検討の余地がある。

さらに、GPS データのセンサ出力との完全同期化、データベースの構築、GIS における可視化を自動的に行うシステム構築など、今後の課題となる。

謝辞

本研究は、平成 14 年度佐賀大学低平地研究プロジェクトの助成および平成 15 年度ユニバーサル財団研究助成による研究の一部である。関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 東京都生活文化局消費生活部生活安全課商品安全係：高齢者の事故防止マニュアル；http://www.shouhiseikatu.metro.tokyo.jp/k_joho/anzen/anzen6.html, 2002.
- 2) 斎藤健治，甲斐裕幸，井上伸一，清田 勝：自転車歩行者道のバリア調査のためのプローブ自転車，日本機械学会，機械力学・計測制御部門講演会，Dynamics and Design Conference 2003, CD-ROM, No.03-7, 2003.
- 3) 斎藤健治，井上伸一，細谷 聡，清田 勝：ハンドルと車体のふれからみた高齢者の自転車操作の特徴，人間工学, Vol. 39-5, pp.241-249, 2003.
- 4) 白川龍生，川村 彰，中島繁則，中辻 隆：車両の振動加速度を利用した路面プロファイル推定システムについて，交通工学, Vol. 38-6, pp.32-41, 2003.